

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Univerzitní studijní programy

**Vývoj aplikačního software elektrohydraulického systému brzd
elektromobilu Democar**

**Development of the Application Software for Electrohydraulics
Brakes System of the Electric Vehicle Democar**

Student:

Bc. Jakub Kys

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Kys**

Studijní program: N3943 Mechatronika

Studijní obor: 3906T007 Automobilová elektronika

Téma: **Vývoj aplikačního software elektrohydraulického systému brzd elektromobilu Democar**
Development of the Application Software for Electrohydraulic Brakes System of the Electric Vehicle Democar

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Na základě specifikace vedoucího diplomové práce a s ohledem na dokončenou úroveň první fáze vývoje elektronického systému brzd, proveďte teoretický návrh celkové koncepce brzdové soustavy včetně bezpečnostní brzdy. Návrh koncipujte jako druhou navazující úroveň vyvíjeného prototypu.
2. Proveďte návrh řídicí jednotky brzdového systému (BCU) pro navrženou koncepci dle bodu 1.
3. Dle instrukcí vedoucího prakticky realizujte komplexní brzdový elektrohydraulický systém a dále proveďte vývoj softwarové řídicí aplikace pro realizaci brzdných sil pro specifické intenzity brzdného účinku (definuje vedoucí DP).
4. Prakticky aplikujte vyvinutá řešení a experimentálně ověřte jejich funkčnost.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 p., ISBN 1-4018-4831-1
- [2] RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 p., ISBN 0-7506-7599-3
- [3] DENTOM, T.: Automotive Technology: Advanced Automotive Fault Diagnosis, 2th Edition, USA 2004, Butterworth-Heinemann Ltd. 2006, 288 p., ISBN 0-7506-6991-8
- [4] Robert Bosch GmbH: Bosch Yellow Jackets Series, Bosch Technical Literature, 1996-2014
- [5] Stockel, W., M., Stockel, T., M., Johanson, Ch.: Auto Diagnosis, Service, and Repair, 7th Edition, Goodheart-Willcox, USA 2003, 1024 p., ISBN 978-1566379106

Dále dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

Palacký

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



Chmelíková

Ing. Zdeňka Chmelíková, Ph.D.
prorektorka pro studium

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl jsem v seznamu literatury všechny použité literární prameny a zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 15. 5. 2018

.....
Jakub Kys

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu,
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15. 5. 2018

.....

Jakub Kys

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Kys

Adresa trvalého pobytu diplomanta:

Kostelec 289

696 51 Kostelec

Poděkování

Děkuji především panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za jeho vzácný čas věnovaný konzultacím práce, a za rady, které jsou pro autora a tím i pro práci přínosem. Rád bych poděkoval i Ing. Samuelu Przeczkovi za veškeré jeho rady a ochotu pomoci. Dále děkuji i svému kolegovi Bc. Stanislavu Obrusníkovi a studentům doktorského studia, především za přátelský kolektiv a ochotu cokoliv na místě prokonzultovat.

Anotace

Kys, J.: *Vývoj aplikačního software elektrohydraulického systému brzd elektromobilu Democar*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2016, 54 stránek. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Hlavním cílem této práce je návrh a praktická realizace druhého konceptu elektrohydraulického systému brzd demonstračního vozidla Democar. Návrh je realizován s ohledem na požadavek zajištění brzdného účinku v případě poruchy vozidla. Tato funkcionality je realizována skrze elektrohydraulický subsystémem nouzové brzdy. Praktická realizace je zaměřena na návrh celkové koncepce brzdového systému včetně nouzové brzdy. Do této koncepce je zahrnut vývoj řídicí jednotky a aplikačního software. Následné rozšíření funkcí aplikačního software bude předmětem vývoje studenty doktorského studia.

V úvodu práce jsou přehledně popsány ostatní elektronické systémy vozidla Democar. V další kapitole je proveden návrh koncepce brzdového systému. Zde jsou definovány požadavky na brzdový systém, rozebrány jednotlivé dílčí části (subsystémy) a komponenty, především inovovaná řídicí jednotka a nouzová brzda. Praktická realizace je rozdělena na část popisující konstrukci elektrohydraulického systému brzd a na vývoj aplikačního software. Součástí práce je i funkční výstup brzdového systému k nalezení v kapitole experimentální ověření.

Klíčová slova

ABS modul, brzdový systém, CAN, Democar, čtyřkolka, elektromobil, MCU, modulátor tlaku, MQX, nouzová brzda, řídicí jednotka, software

Annotation

Kys, J.: *Development of the Application Software for Electrohydraulics Brakes System of the Electric Vehicle Democar*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, University study programmes, 2016, 54 pages. Diploma thesis. Thesis head: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

The main aim of this thesis is the design and practical realization of the second concept of the electrohydraulic brake system for demonstration vehicle Democar. The design is implemented with respect to the requirement to provide a braking effect in case of vehicle failure. This functionality is realized by electrohydraulic subsystem of emergency brake. The practical implementation is focused on the design of the overall concept of the braking system, including the emergency brake. This concept includes development of the control unit and application software. The subsequent extension of application software will be the subject of development by PhD students.

In the introduction, the other electronic systems of the Democar vehicle are clearly described. In next chapter, the concept of braking system is designed. Here are defines the requirements for the braking system, the individual components (sub-systems) and components, in particular the innovative control unit and the emergency brake, are analyzed. The practical implementation is divided into a part describing the design of the electro-hydraulic brake system and the development of the application software. Part of the thesis is also the functional output of the braking system to be found in the experimental verification chapter.

Keywords

ABS Module, Brake System, CAN, Democar, Quad bike, Electromobil, MCU, Pressure Modulator, MQX, Emergency Brake, Controller, Software

Seznam použitých zkratk a symbolů

4WD	four wheel drive (pohon čtyř kol)
ABS	anti-lock brake system (protiblokovací systém)
ADC	analog-digital convertor (analogově-digitální převodník)
ASR	anti-slip regulation (protiprokluzový systém)
BCU	brake control unit (řídící jednotka brzd)
CAN	controller area network
CAN_ABS	CAN sběrnice mezi BCU a modulátorem tlaku
CAN_CONTROL	CAN sběrnice mezi BCU a kooperujícími elektronickými systémy
CCU	central control unit (centrální řídící jednotka)
CW	Code Warrior (vývojové prostředí)
DCU	drive control unit (řídící jednotka pohonu)
EMCU	electro management control unit (řídící jednotka napájení)
ESP	electronic stability program (systém elektronické stabilizace)
GND	ground (zemní potenciál)
GPIO	general pin input output
HW	hardware
I/O	input/output (vstupní/výstupní)
JTAG	join test action group (programovací konektor)
LCU	light control unit (řídící jednotka světel)
LIN	local interconnect network
MCU	micro controller unit (mikrokontrolér)
MQX	message queue executive
P/I	pressure/current (tlak/proud)
PWM	pulse with modulation (pulzní šířková modulace)
PXS20	název vývojového kitu
RS486	protokol sériové komunikace
RTOS	real-time operation system (operační systém reálného času)
RX	receiver (přijímač)
ŘJ	řídící jednotka
SCU	steering control unit (řídící jednotka řízení)
SIL	safety integrity level
SW	software
TX	transmitter (přijímač)
UART	universal asynchronous receiver-transmitter
USB	universal serial bus (univerzální sériová sběrnice)

Obsah

Úvod.....	11
1 Elektronické systémy čtyřkolky Democar	12
1.1 Systém centrální řídicí elektroniky	12
1.2 Systém řízení pohonu.....	13
1.3 Systém elektronického servořízení	14
1.4 Systém osvětlovací soustavy.....	15
1.5 Systém managementu napájení.....	16
1.6 První koncepce elektro-hydraulického systému brzd	16
2 Návrh druhé koncepce elektrohydraulického systému brzd.....	18
2.1 Požadavky na koncepci brzdového systému	19
2.2 Brzdiče	19
2.3 Hydraulické hadice	19
2.4 Modulátor tlaku.....	19
2.5 Řídicí jednotka	20
2.6 Okruh nouzové brzdy.....	23
3 Praktická realizace elektrohydraulického systému brzd	28
3.1 Hardwarová část brzdového systému.....	28
3.2 Softwarová část brzdového systému	31
4 Ověření funkce	41
4.1 Popis seskládání a odvzdušnění	41
4.2 Funkční demonstrace navržené desky řídicí jednotky	44
4.3 Převodní charakteristika snímače tlaku.....	46
4.4 Funkční demonstrace navrženého softwarového řešení.....	46
5 Závěr	51
Seznam použité literatury.....	52
Přílohy	54

Úvod

Neustálý vývoj systémů v automobilovém průmyslu realizuje čím dále náročnější požadavky trhu a vládních nařízení. Tyto požadavky mohou být na:

- zvýšení bezpečnosti,
- zvýšení hospodárnosti,
- zvýšení jízdního pohodlí,
- zlepšení životního prostředí. [1]

K zajištění zmíněných požadavků jsou vyvíjeny konkrétní systémy. Může se jednat o systémy hydraulické nebo pneumatické. Potenciál pro následný vývoj a zdokonalování těchto systémů není takový z důvodu jisté technologické nasycenosti ve srovnání se systémy elektronickými [1].

V poslední letech nastává extrémní rozmach elektronických systémů, např. v oblasti pohonu vozidla, kde se nahrazují konvenční spalovací jednotky systémy hybridními nebo čistě elektronickými. V návaznosti se však musí navrhovat i vyvíjet i systémy, které pokrývají požadavky pro správnou funkci samotného elektromotoru, v tomto případě jeho správnou regulaci, tedy řízení. Další příklad rozmachu elektronických systémů je např. vývoj autonomního řízení, kde složitost celého systému převyšuje do nedávna vyvíjené systémy. Tento zmíněný systém může změnit pohled na definici automobilu. Doposud může být termín „automobil“ chápán jako člověkem ovládaný prostředek. Člověk soustředí své smysly především k ovládání (řízení) vozidla. Nynější vývoj a trend směřování k autonomnosti vozidel, bude pro řidiče znamenat další osvobození od jeho běžných úkonů. Otázkou zůstává zda-li dojde k úplné absenci řidiče vozidla.

Z důvodu výše zmíněné expanze elektronických systémů vznikl na půdě VŠB-TU Ostrava projekt Democar. Jedná se o čtyřkolku poháněnou čtyřmi synchronními elektromotory a ovládanou pomocí rádiové vysílačky. Tento projekt slouží především pro demonstrační účely navržených a realizovaných funkčních elektronických systémů, v rámci bakalářských nebo diplomových prací, studenty Aplikované elektroniky, Mechatroniky a v budoucnu i Automobilových elektronických systémů.

Výstupem této práce je funkční elektrohydraulický systém brzd. Navržená platforma dále poslouží pro rozšíření a výzkumnou činnost.



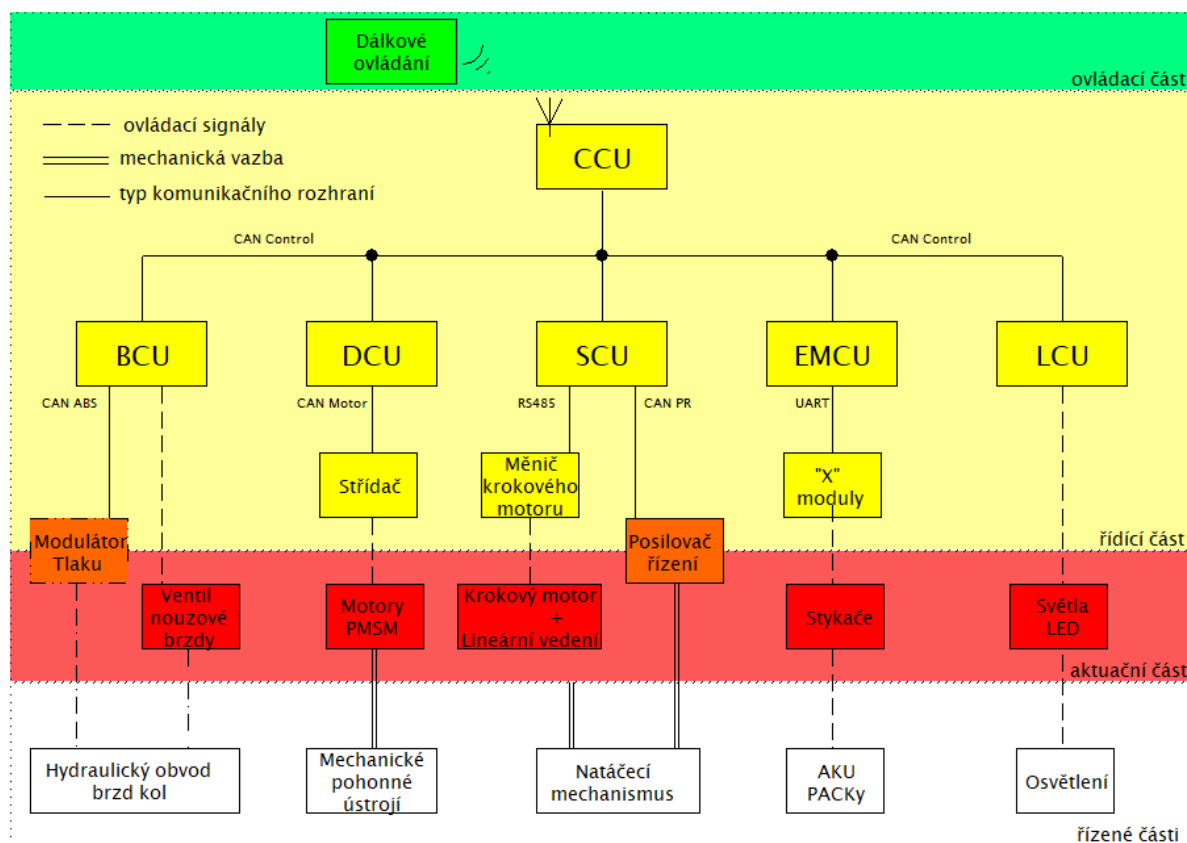
Obr. 1. - Democar

1 Elektronické systémy čtyřkolky Democar

Jednotlivý elektronický systém je vyvinut pro specifikovanou funkci. Takový obecný systém je tvořen řídicí jednotkou, dále sensory a v neposlední řadě akčními členy, vykonávající definovanou funkcionalitu.

V rámci čtyřkolky Democar jsou integrovány tyto elektronické systémy:

- systém centrální řídicí elektroniky (CCU),
- systém řízení pohonu (DCU),
- elektrohydraulický systém brzd (BCU),
- systém elektronického servořízení (SCU),
- systém osvětlovací soustavy (LCU),
- systém managementu napájení (EMC).



Obr. 2. – Blokové schéma elektronických systémů a subsystémů Democar

1.1 Systém centrální řídicí elektroniky

Primární funkce Centrálního řídicího systému je přijímání požadavků od uživatele, následné vyhodnocení a cyklické odesílání zpracovaných dat na sběrnici CAN Control. Z této sběrnice, na kterou

jsou napojeny řídicí jednotky všech elektronických systémů čtyřkolky, přijímají zpracované požadavky od CCU.

Aby daný elektronický systém věděl, která datová zpráva na sběrnici je určená pro něj, jsou data opatřena tzv. identifikátorem. Dohromady tvoří data + identifikátor + další konfigurační bity tzv. rámec zprávy. Ten systém, pro něhož byla zpráva určena, provede požadavek.

Rádiový řídicí systém obsahuje vysílač DC16 od společnosti Jeti model, využívající pro řízení bezdrátový systém Duplex 2,4GHz. Vysílač je vybaven konfigurovatelnou sadou přepínačů a 2 křížovými ovladači s velkým rozlišením. Funkci vysílače tvoří i možný příjem telemetrických dat.

Vyhodnocení přijatých sériových dat v řídicí jednotce CCU probíhá v jejich rozdělení na stavové proměnné. V případě chybného formátu dat, jsou do stavových proměnných nastaveny chybové hodnoty. V případě detekce chybného formátu dat čtyřkolka zastaví a pomocí blikání výstražných světel začne signalizovat poruchu. [2]



Obr. 3. – Vysílačka DC-16 [2]

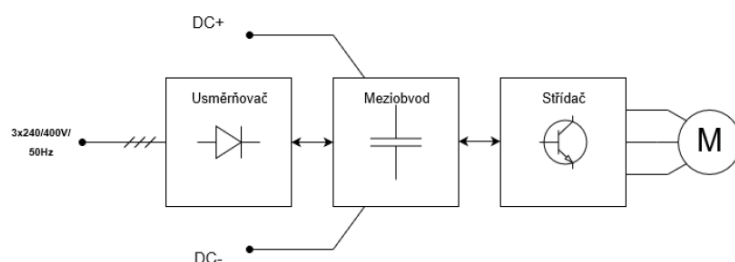
1.2 Systém řízení pohonu

Pro ovládání rychlosti čtyřkolky slouží systém řízení pohonu. Tento systém řídí točivý moment čtyřkolky v závislosti na přijatých parametrech a provozních podmínkách. Tyto parametry jsou buď snímány nebo doručeny skrze sběrnici CAN. Příklad těchto parametrů:

- nastavení točivého momentu uživatelem skrze pomocí křížové páčky dálkové ovládání,
- čtení a odesílání informací s kooperujícími systémy BCU, SCU a CCU
- otáčky výstupní hřídele motoru
- teplota motorů
- informace o stavu napětí akupacku

Čtyřkolka Democar je koncepcí pohonu 4WD. Pro jednotlivá hnací ústrojí jsou navrženy motory Baumüller DSC. Jedná se o 10-pólové, 3-fázové synchronní motory s permanentními magnety. Jmenovitý moment motoru a výkon je $M_J = 40,5 \text{ Nm}$, $P_J = 4,2 \text{ kW}$. Motory jsou uloženy rovnoběžně s šasi vozidla. Moment na kola se přenáší přes poloosy a homokinecké klouby. Mezi motory a koly není redukční převodovka. Čtyřkolka nyní dosahuje rychlosti až 120km/h.

Pro řízení motorů jsou použity průmyslové měniče kmitočtu Baumüller. Měnič tvoří diodový usměrňovač, napěťový meziobvod a napěťový střídač v můstkovém zapojení. V aplikaci pro řízení motoru čtyřkolky, měnič pracuje v režimu střídače. Stejnoseměrné napětí 540V z hlavního battery packu je přivedeno do meziobvodu měniče. Meziobvod je tvořen soustavou kondenzátorů. Střídač v můstkovém zapojení vytváří střídavé napětí, které napájí motory. Velikost napájecího napětí je řízeno PWM modulací.



Obr. 4. – Blokové schéma měniče kmitočtu [3]

Algoritmus řízení pohonu obsahuje hlavní task a komunikační tasky. Komunikační tasky slouží k přijímání a odesílání parametrů po sběrnici CAN, které ovlivňují řízení pohonu. Hlavní task provádí algoritmus řízení pohonu. Tento task obsahuje:

- inicializaci pohonu,
- algoritmus pro řízení rychlosti čtyřkolky.

Tento algoritmus provádí výpočet hnacího momentu na základě přijatých parametrů. Následují korekce v závislosti na jízdních podmínkách. Těmito podmínkami se myslí:

- jízda zatáčkou,
- prokluz kol.

Tyto podmínky vedly ke vzniku softwarových implementací, např. elektronického diferenciálu a protiprokluzového systému. [3]

1.3 Systém elektronického servořízení

Funkční předpoklad tohoto systému je ovládání natáčecího mechanismu řízení. Řídící jednotka SCU komunikuje s CCU a pomocí sběrnice CAN Control. Prostřednictvím sběrnice CAN dostává SCU informace polohy natočení mechanismu uživatelem skrze vysílačku.

K tomuto účelu je zvolen dvoufázový krokový motor 5718L-01P. Krokový motor je charakteristický tím, že se dokáže natočit o jistý úhel α na základě jistého počtu řídicích impulsů.

Řídicí impulsy jsou získávány z měniče krokového motoru. Jedná se o speciální řídicí modul, který generuje řídicí pulsy pro krokový motor, na základě parametrů získaných z SCU. Tyto parametry jsou:

- nastavení mikrokrokování,
- rychlosti,
- zrychlení,
- velikosti přídržného a rozběhového proudu,
- rychlosti komunikace.

Tento řídicí modul komunikuje s ŘJ jednotkou CCU prostřednictvím sériové linky RS486. Měnič dále získává informace o úhlu natočení krokového motoru prostřednictvím encoderu.

Hřídel krokového elektromotoru je spojena s lineárním vedením. Posuvný segment lineárního vedení je pomocí speciálního spřáhla spojen s hřídelem řízení.

Z důvodů zvýšení rychlosti natáčecího mechanismu je v systému zařazen posilovač řízení. Posilovač komunikuje s řídicí jednotkou SCU pomocí CAN PR. Posilovač zesiluje krouticí moment hřídele řízení v rychlostech od 0 – 50 km/h až 3,5x. Dále slouží jako zpětnovazební informace polohy hřídele řízení.

Algoritmus servořízení obsahuje sedm tasků. Hlavní task slouží k ovládání a regulaci polohy natáčecího mechanismu, čtyři tasky pro komunikaci (CAN control, Can PR, které jsou následně děleny na přijímací RX a odesílací TX tasky), task pro zpoždění zapínání směrovek a bezpečnostní task.

V hlavním tasku probíhá inicializace CAN a RS485, regulace polohy natáčecího mechanismu. Task obsahuje další funkce jako hystereze pro znecitlivění křížové páčky dálkového ovladače a ovládání posilovacího účinku. [4] [5]

1.4 Systém osvětlovací soustavy

Systém osvětlení vozidla zajišťuje hlavní funkci ovládání světelných zdrojů. Mimo to obsahuje i přídatné funkce jako je automatická deaktivace směrových světel při srovnání osy řízení a aktivaci brzdových světel při brzdění čtyřkolky.

Světelné okruhy se skládají z předního hlavního světlometu, předních směrovek, zadního obrysového-brzdového světla, zadního středového brzdového světla a ze světel pro jízdu vzad. Hlavní přední světlomet tvoří dálkové světlo, tlumené světlo, denní světlo. Obrysové-brzdové světlo mění svoji funkci v závislosti na požadavku brzděné od BCU.

Řídicí jednotka LCU je schopna měřit proudy v jednotlivých světelných okruzích, ovládat intenzitu jasu zadních obrysových světel, detekovat chybové stavy z ostatních elektronických systémů čtyřkolky

a signalizovat je pomocí výstražných světel. Výkonový obvod řídicí jednotky je navrhnout z důvodů energetických požadavků světel a světlometů. Zvolený pěticestný výkonový spínač obsahuje i vedlejší využitelné funkce jako možnost řízení výstupu pomocí PWM, ochrany vstupů/výstupů a další.

Řídicí algoritmus je složen z inicializace, volby světel, měření proudu a kontroly napájení. V inicializaci dochází k nastavení parametrů periferních obvodů, nastavení komunikačních prostředků. Hlavní smyčka je tvořena z volby světel, která se dále větví. Toto větvení obsahuje další smyčku, která kontroluje požadavek na rozsvícení konkrétních světel. Měření proudu se využívá jako zpětnovazební informace o stavu v jednotlivých světelných okruzích. Software nabízí i další funkce jako je rozsvícení brzdových světel a rozsvícení směrovek při natočení hřídele rejdové osy. [6]

1.5 Systém managementu napájení

V součinnosti s vývojem systému brzd je vyvíjen i tento systém. Hlavním funkčním požadavkem pro navrhovaný systém managementu napájení je bezpečné napájení veškerých elektronických systémů. Systém obsahuje i vedlejší funkce jako je poskytování údajů o stavu jednotlivých battery packů. Jelikož tento systém poskytuje energii ostatní systémům čtyřkoly, jsou zde kladeny nároky na funkční bezpečnost systému.

Čtyřkolka pracuje s třemi tzv. battery packy. Jsou to 12V (80Ah), 24V(40Ah), 540V(20Ah). V těchto pacích se nacházejí baterie článků s hladinami požadovaných napětí a kapacit. Dvanácti voltová větev napájí řídicí jednotky a posilovač řízení. Větev 24V napájí řídicí obvody měničů, měnič krokového motorku servořízení, snímač tlaku P/I nouzové brzdy ventil nouzové brzdy. Poslední zmíněná větev 540V napájí meziobvod měničů a poskytuje energii pro elektromotory.

Řídicí jednotka komunikuje s tzv. X-moduly prostřednictvím UART. Každý battery pack obsahuje jeden řídicí X-modul. Úkolem modulů je sbírat informace o stavu jednotlivých článků nebo jejich sekcí a následně je odeslat do ŘJ. Modul dokáže komunikovat pouze s určitým počtem článků. Předmětem vývoje na tomto elektronickém systému je elektronický přepínač, který přepíná okruhy článků. Články v sekci komunikují skrze balanční moduly. Tyto moduly odesílají parametry a informace o stavu jednotlivých článků. Tyto články jsou následně zpracovány X-moduly a odesílány na ŘJ.

1.6 První koncepce elektro-hydraulického systému brzd

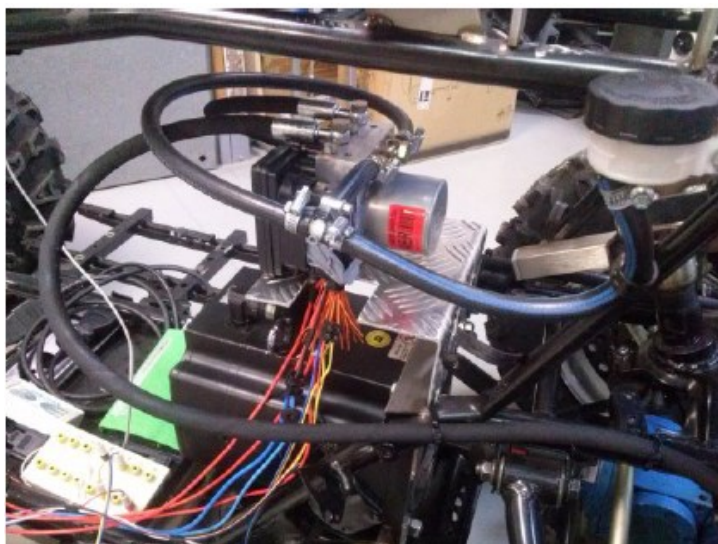
První koncepce brzdového systému obsahovala přední brzděnou nápravu, bez použití nouzové brzdy. Jeden z cílů byla analýza ABS/ASR/ESP modulu, používaného u vozidel Hyundai i30. V našem případě se jedná o modulátor tlaku a tvoří základní prvek elektrohydraulického obvodu.

Zmíněný modulátor tlaku byl analyzován za účelem ověření, zdali je možné tento modul použít jako tlakový modul pro komplexní brzdový systém. Testování probíhalo pomocí sériové diagnostiky Bosch KTS 540. Pomocí diagnostického nástroje byla zjištěna komunikační rychlost modulu.

Prostřednictvím programu PP2CAN, skrze interface USB2CAN byly odposlouchávány zprávy na CAN sběrnici. Analýzou odposlechnutých dat, byly stanoveny jednotlivé funkce ABS/ESP modulu a celková filozofie fungování modulu.

Pro softwarové řešení byl použit operační systém reálného času MQX od NXP. Umožňuje programátorovi snadnější práci z důvodu komponentně orientované architektury a možnosti využívání mnoha knihovnických funkcí.

Softwarové řešení první koncepce spočívalo v šesti tascích. Hlavní task inicializuje a vytváří komunikaci CAN (celkem čtyři tasky), a spouští task pro kontrolu modulátoru tlaku. Následně se kontroluje stav ABS, vyhodnocují se hlášení o chybových stavech s kooperujícími systémy a vykonává algoritmus brzdění. [7]



Obr. 5. Umístění ABS/ASR/ESP modulátoru [7]

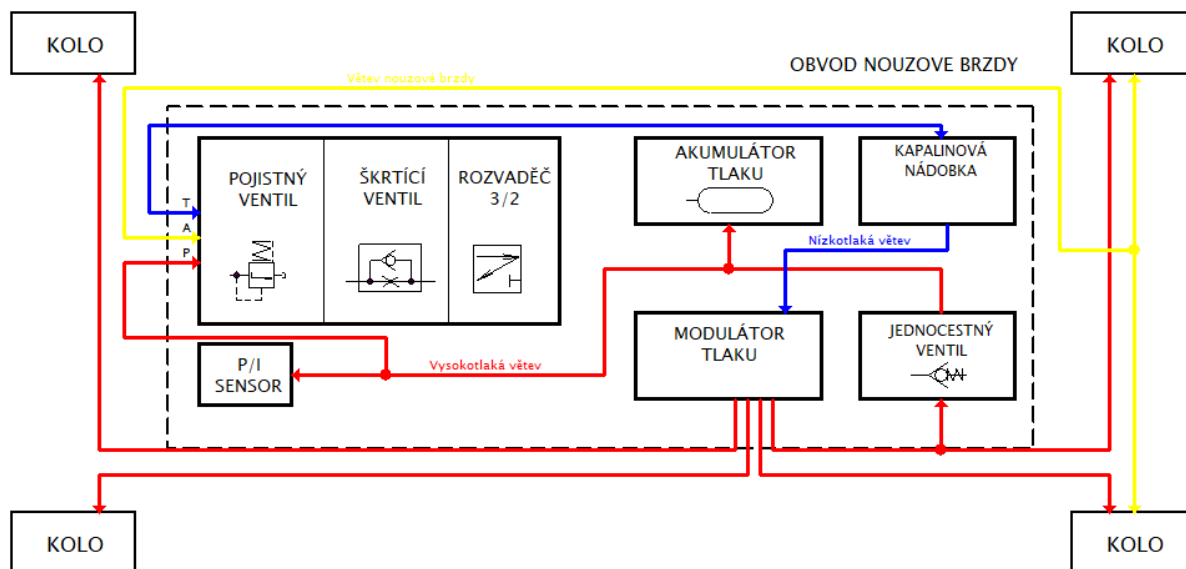
2 Návrh druhé koncepce elektrohydraulického systému brzd

Při návrhu koncepce systému obecně dochází k volbě možných technických prostředků a jejich způsobu aplikace. Volbu těchto prostředků (hardwaru, softwaru aj.) lze uskutečnit podle povahy navrhovaného systému.

Brzdová soustava patří mezi systémy, při jehož vývoji je třeba brát zvýšené požadavky především na kvalitu koncepčního návrhu a použitých komponentů. Závada jednotlivých částí brzdové soustavy může vést k následkům, které jsou v lepším případě fatální pro dané vozidlo, v horším pro účastníky silničního provozu.

Hlavními částmi elektrohydraulického systému brzd jsou:

- brzdíče
- hydraulické hadice
- modulátor tlaku
- řídicí jednotka (HW i SW)
- okruh nouzové brzdy



Obr. 6. Blokové schéma hydraulických okruhů brzdového systému Democar

Softwarovému řešení je vyhrazena celá kapitola a okruhu nouzové brzdy podkapitola.

2.1 Požadavky na koncepci brzdového systému

Hlavním požadavkem pro brzdový systém je zpomalení či případné zastavení vozidla. Tyto základní předpoklady tvoří funkci na úrovni vozidla. Využití této funkce musí mít uživatel vždy k dispozici. S tímto požadavkem souvisí funkční bezpečnost a spolehlivost celého systému.

Požadavky na brzdový systém:

- brzdění všech kol (hydraulická větev ke každému kolu),
- zabrzdění čtyřkoly při identifikaci závady
- komunikace s kooperujícími elektronickými systémy
- řízená modulace tlaku systému. (provozní a nouzové brzdy)

Pro splnění výše uvedených požadavků je sestaven odpovídající návrh koncepce.

2.2 Brzdiče

Na těhlici jsou namontovány brzdiče, které obsahují brzdový třmen, brzdové obložení a kotouč. Brzdový třmen obsahuje píst, který tlačí obložení proti kotouči při přivedení tlakové kapaliny. Dále obsahuje dva přípoje pro hydraulický hadice a dva odvodušňovací šrouby. V tělese těhlice se dále nachází náboj kola na kterém je přišroubované kolo.

2.3 Hydraulické hadice

Pro rozvod tlakové kapaliny jsou použity pancéřové brzdové hadice s teflonovým jádrem od firmy Bekas. Hadice jsou dimenzovány na maximální tlak až 300bar. Pro přípoj ke komponentům, které jsou osazeny vnitřními závity G, jsou navrženy závitové redukce. Tyto hadice byly voleny pro své vlastnosti a malé rozměry.

2.4 Modulátor tlaku

Pro vyvíjení tlaku v systému je použit modulátor tlaku. V této aplikaci není využívána žádná funkcionality ABS/ASR/ESP a modul je využíván pouze k vytvoření brzdícího tlaku. Modul obsahuje čtyři vysokotlaké výstupy ke každému kolu. Vstupní nízkotlaká část je připojena k nádobce s brzdovou kapalinou. Tlak pro brzdící moment je modulován čerpadlem a sestavou sacích, uzavíracích a přepouštěcích ventilů. Tyto aktuátory jsou ovládány pomocí vlastní ŘJ, která komunikuje s nadřazenou ŘJ prostřednictvím sběrnice CAN. Pomocí této sběrnice jsou nadřazenou ŘJ odesílány informace pro modulaci brzdícího účinku a zpětnovazebně přijímány informace o činnosti modulátoru. Testování použitelnosti této komponenty bylo předmětem práce [7].

1,2 – čerpadlo

3 – ventilový blok

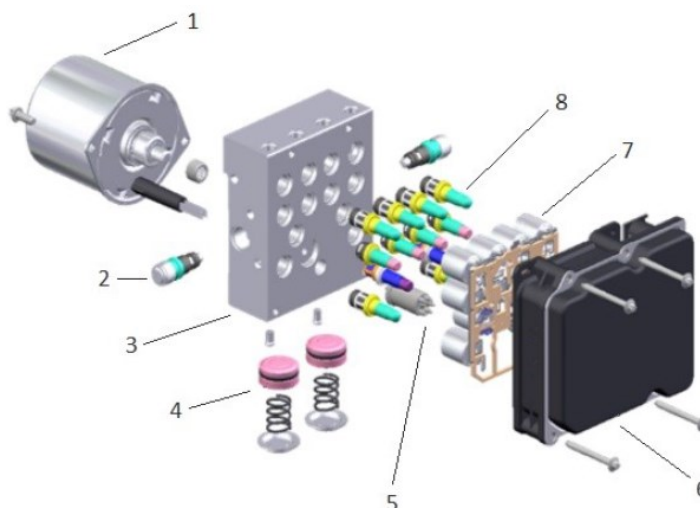
4 – tlumící komory

5 – snímač tlaku

6 – řídicí jednotka

7 – ventilové solenoidy

8 – elektromagnetické ventily



Obr. 7. – Části tlakového modulátoru [7]

2.5 Řídicí jednotka

Motivací pro výrobu další verze řídicí jednotky bylo zajištění funkce navržených inovací.

Návrh ŘJ obsahuje obvodová řešení, která byla částečně převzata s předchozí diplomové práce [7].

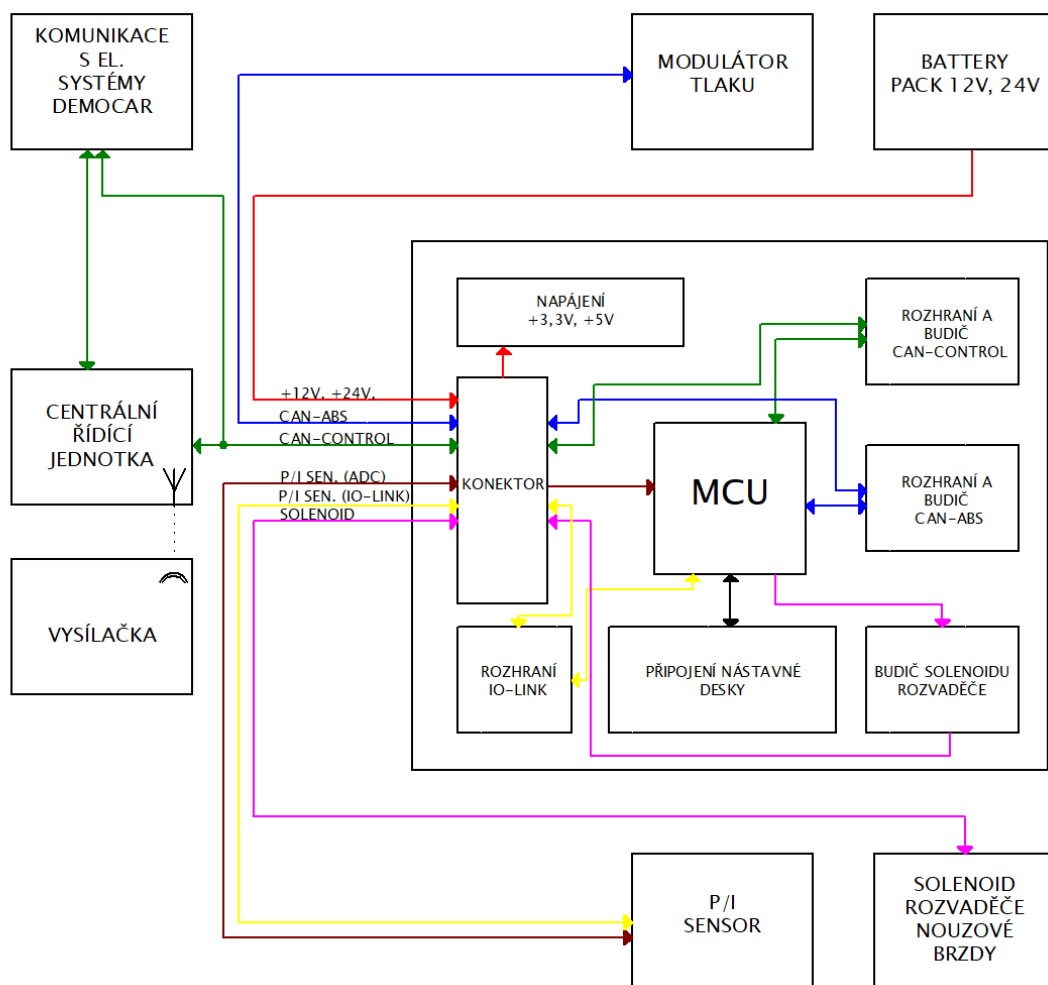
Konkrétně tedy:

- napájení 5V a 3,3V,
- obvody pro správnou funkci MCU,
- obvody CAN rozhraní.

Inovovaná ŘJ je doplněna o obvodová řešení nutná pro zajištění funkcí a o technické prostředky pro možnost připojení dalších rozšiřujících externích obvodů pomocí přípojné desky. Tato nastavná deska může využívat I/O periferie MCU jako jsou piny GPIO, ADC, a PWM. Připojení k těmto pinům MCU je prostřednictvím konektoru. Dále může nastavná deska využít obvodů napájení. V konektoru WAGO jsou vyvedena napájení. Tato napájení obsahují napětíové hladiny 24V, 12V, 5V a 3,3V. Další inovačním prvkem na BCU je návrh měřících bodů, za účelem diagnostiky desky, v případě poruchy na DPS.

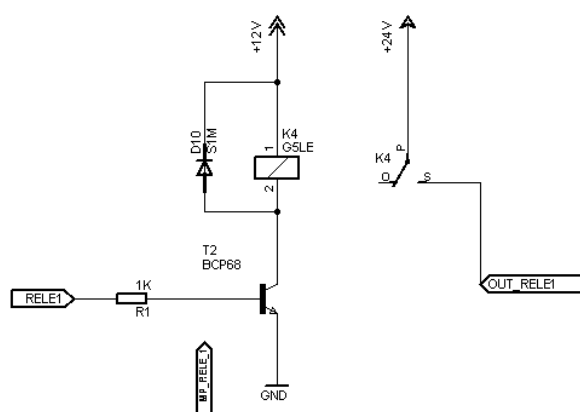
Inovované obvody na DPS BCU:

- obvod budiče solenoidu rozvaděče
- obvody pro snímač tlaku nouzové brzdy (analogový i digitální návrh)
- obvod pro filtraci napáječky 24V



Obr. 8. – Blokové schéma elektrického zapojení brzdového systému Democar

2.5.1 Obvod budiče solenoidu

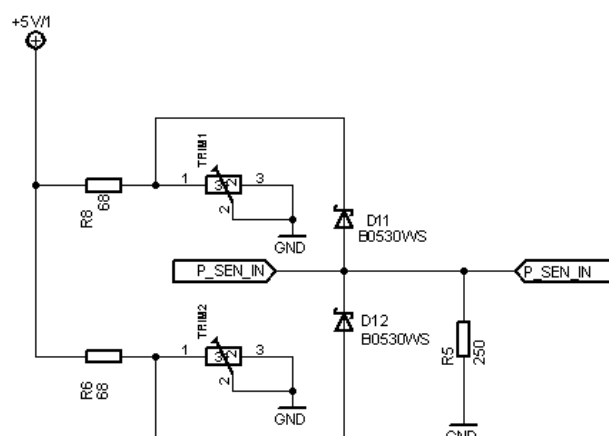


Obr. 9. – Obvod budiče solenoidu

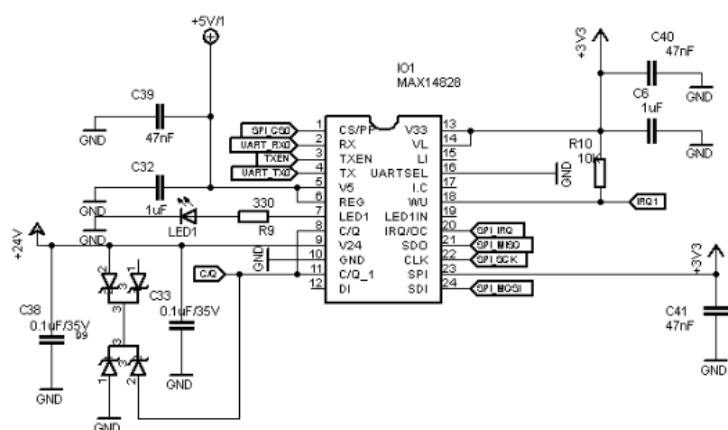
Tranzistor T2 slouží pro sepnutí ovládacího vinutí relé. Báze tranzistoru je přes omezovací odpor R1 připojena na výstup GPIO pinu MCU. V případě stavu log. 1 odpovídající 3,3V je tranzistor vybuzen a spíná cívku relé. Zpětná dioda D10 funguje jako ochranný prvek proti přepětí, které vzniká při vypínání indukční zátěže.

2.5.2 Obvody pro snímání tlaku nouzové brzdy

Výstup z tlakového snímače je proudový v rozsahu 4 až 20 mA. Měřicím rezistorem R5 protéká proud. Úbytek napětí na R5 je snímán MCU. Diody D11 a D12 ochraňují vstupy MCU proti přepětí a podpětí. Z důvodu úbytku napětí na diodě je nutné nastavit hladinu napětí na katodu (anodu), tak aby nebyl ovlivněn měřicí rozsah rezistoru R5. K tomuto nastavení slouží děliče složené s R8, TRIM1 a R6, TRIM2.



Obr. 10. – Obvod pro úpravu analogového signálu P/I snímače

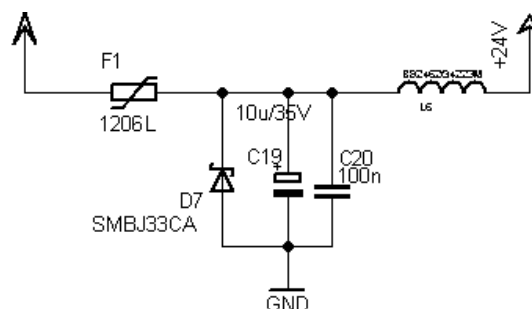


Obr. 11. – Obvod pro úpravu digitálního signálu P/I převodníku

2.5.3 Obvod pro filtraci napájení 24V

Napájecí obvod je chráněn proti zkratovému proudu vratnou pojistkou. Dioda D7 zde slouží jako ochrana proti přepólování zařízení.

LC filtr tvořený C19, C20 a L6 tvoří dolnoproustný filtr, který filtruje vysokofrekvenční složky signálu.

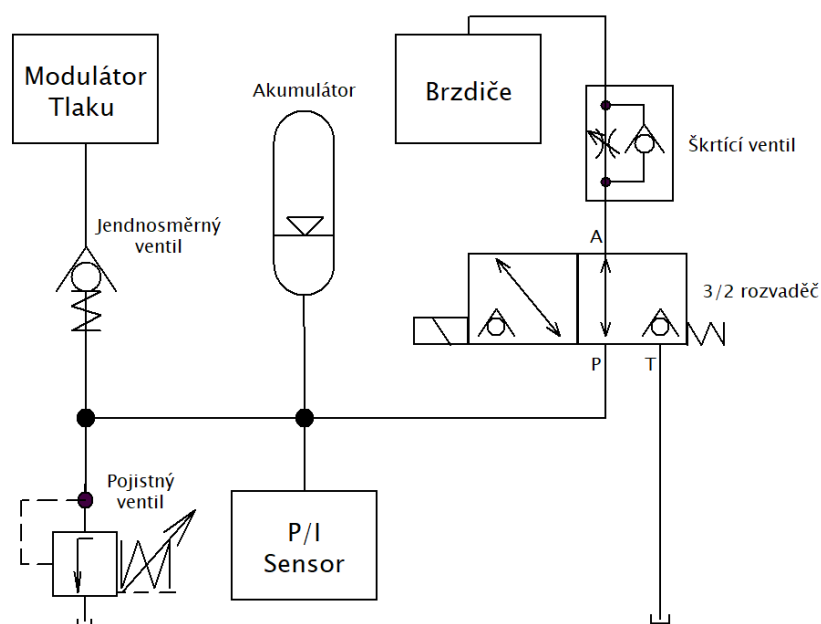


Obr. 12. – Obvod pro filtraci + 24V

2.6 Okruh nouzové brzdy

Okruh nouzové brzdy tvoří další hydraulický okruh brzdového systému. Tato hydraulicko-elektrická část pokrývá požadavek brzdění při ztrátě napájení a chybě modulátoru tlaku. Okruh nouzové brzdy je tvořen:

- 3/2 rozvaděč se solenoidovým aktuátorem,
- škrtícím a pojistným ventilem,
- jednocestný ventilem,
- akumulátorem tlaku,
- snímačem tlaku nouzové brzdy (P/I sensor).



Obr. 13. – Hydraulické schéma nouzové brzdy

Tlak z modulátoru otevře jednocestný ventil a tlaková kapalina stlačuje membránu v akumulátoru tlaku. Jednocestný ventil odděluje okruh nouzové brzdy od provozního okruhu. Tlakový snímač poskytuje zpětnou vazbu řídicí jednotce o hodnotě tlaku v systému. Ta, pomocí čerpadla modulátoru tlaku, řídí tlak v okruhu nouzové brzdy. Akumulátor slouží jako zásoba tlakové energie pro případ spuštění nouzové brzdy. V případě detekce chyby na některém s kooperujících elektronických systémů nebo výpadku napájení čtyřkolky, se prostřednictvím ŘJ ovládá solenoid rozvaděče, který přestavuje polohu rozvaděče. Tím se ovládá tlaková energie ze zásobníku na brzdiče kol zadní nápravy.

Rozvaděč, škrtící a pojistný ventil jsou navrženy jako „sandwich plate“ typ od firmy Bosch Rexroth. Vstupy a výstupy segmentů na sebe přímo dosedají. Všechny tři segmenty jsou naskládány na sebe. Čtyři závitové tyče po stranách drží pozici segmentů a jsou k sobě dotaženy pomocí matic.

2.6.1 Rozvaděč

Základním řídicím prvkem okruhu nouzové brzdy je třicestný/dvoupolohový (3/2) rozvaděč se solenoidovým aktuátorem, který v případě inicializace změny polohy přenáší tlak kapaliny na kola zadní nápravy. Změnu polohy rozvaděče iniciuje výpadek napájení nebo závada modulátoru tlaku.

Vybraný rozvaděč *M- 3 SED 6 UK* [9] splňuje podmínky pro rozvod tlakové kapaliny k brzdícím zadní nápravy.



Tab. 1. - Parametry rozvaděče

Maximální tlak	350bar
Průtok	25l/min
Napájení solenoidu	24V

Obr. 14. – 3/2 Rozvaděč

2.6.2 Škrťací a pojistný ventil

Škrťací ventil slouží v hydraulickém obvodu ke škrcení průtoku. Obsahuje i obtok složený z jednocestného ventilu. Škrcení je nastavitelné rotační pákou z boku tělesa škrťacího ventilu. Tímto způsobem lze nastavit tlak a průtok v okruhu nouzové brzdy.

Pojistný ventil je v hydraulickém obvodu z důvodu zabránění přetlakování systému a následnému poškození komponentů. Je nastaven na 120bar. V případě překročení této meze začne tlakovou kapalinu přepouštět do nádobky kapaliny.

Jako škrťací ventil je zvolen *Z2FS 6 – 3-4X* [10]

Tab. 2. - Parametry škrťacího ventilu

Maximální tlak	315bar
Průtok	80l/min



Obr. 15. – Škrťací ventil[10]



Obr. 16. – Pojistný ventil[11]

Pojistný ventil byl zvolen ZDB6DP3-2X [11]

Tab. 3. – Parametry pojistného ventilu

Maximální tlak	350bar
Průtok	60l/min

2.6.3 Jednocestný ventil

Tento ventil slouží především pro držení tlakové kapaliny v systému nouzové brzdy. Jelikož na modulátoru tlaku není více portů, je tlak brán s okruhu levé zadní brzdy. V případě absence ventilu by při natlakování okruhu nouzové brzdy levý zadní brzdíč brzdil kolo.

Vybraný jednocestný ventil S 6 A05-IX [12]

Tab. 4. – Parametry jednocestného ventilu

Maximální tlak	450bar
Průtok	450l/min



Obr. 17. – Jednocestný ventil[12]

2.6.4 Akumulátor tlaku

Membránový akumulátor tvoří zásobník tlaku potřebný v případě aktivace nouzové brzdy. Při startu čtyřkolky dochází k jeho natlakování modulátorem. V případě výpadku napájení se tento akumulovaný tlak uvolní do brzdíčů a brzdí kola zadní nápravy.



Obr. 18. – Akumulátor tlaku[13]

Zvolený typ akumulátoru HAD 0,7-350 2X [13]

Tab. 5. – Parametry akumulátoru

Kapacita	0.7 l
Dovolený průtok	40l/min
Max tlaku	350bar
Membrána	elastomer

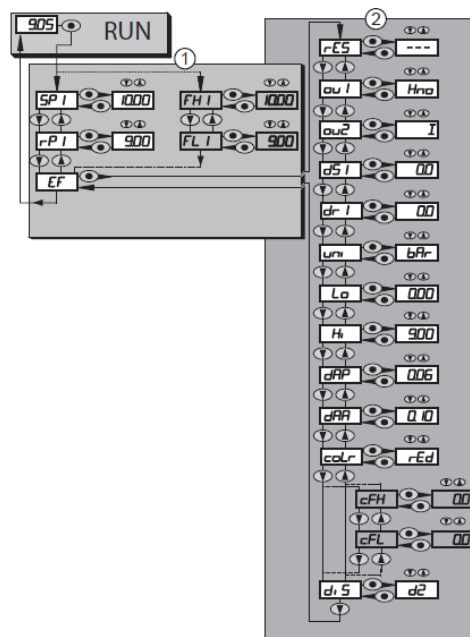
2.6.5 Snímač tlaku

Snímač tlaku je použit s důvodu tlakové zpětné vazby do řídicího systému. Zvolený sensor PN3070 má dva výstupní porty. Analogový port, pracující v režimu 4 až 20mA (0-10V) a digitální. Při volbě digitálního signálu, zařízení využívá sběrnici IO-Link.

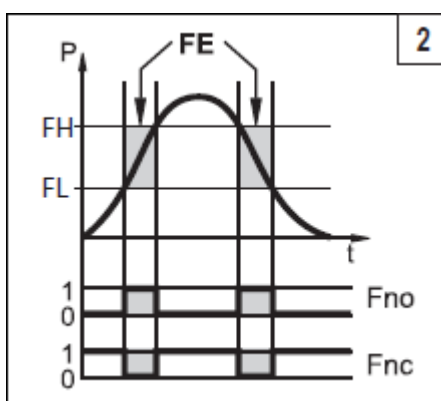
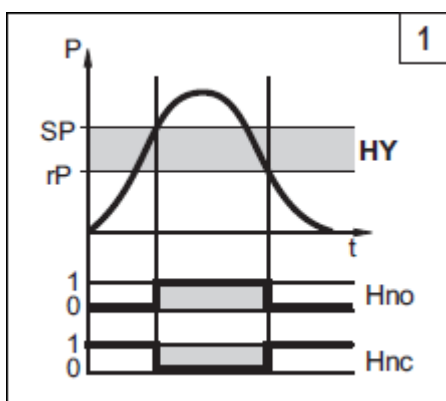
Digitální port zajišťuje diskretní signál, který mění logickou hodnotu při dosažení nastavené hodnoty tlaku. Hodnoty se dají nastavit prostřednictvím tlačítek a displeje na tělese snímače. Na snímači lze nastavit dva hysterezní módy.

Tlakový snímač PN3070 lze konfigurovat prostřednictvím displeje na tělese snímače. Po zapnutí napájení dochází k výběru k nastavení hodnot parametrů SP a rP v menu 1. Přenastavení do hysterezního módu 2 (FH1, FL1) se provádí pomocí rozšířeného menu. V rozšířeném menu se dále nastavují:

- reset snímače do továrního nastavení (rES),
- volba hysterezního módu (Ou1),
- volba měřicí metody pro analogový výstup (ou2),
- switch-on, switch-off zpoždění (dSi, drl)
- jednotky (uni),
- maximální a minimální hodnoty systémového tlaku (Lo, Hi),
- rychlost zobrazování měřené hodnoty tlaku na displeji,
- citlivost snímače (dAP, dAA);
- barva displeje (coLr),
- rychlost zobrazování měřené hodnoty tlaku na displeji (diS).



Obr. 19. – Menu tlakového snímače PN3070[14]



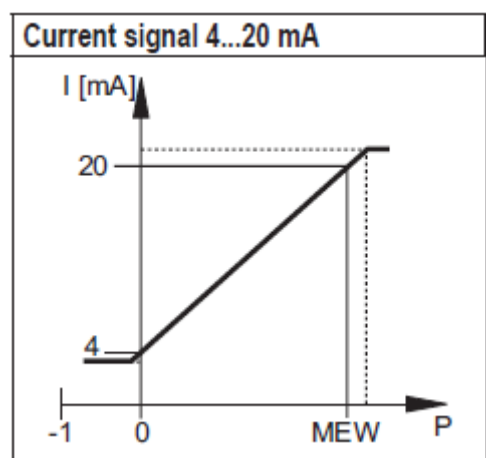
SP – Reset point

rP – Reset point

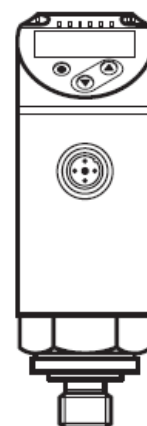
FH – Upper value

FL – Lower value

Obr. 20.1, 20. 2 – Módy hysterese snímače PN3070[13] pro funkci digitálního snímání



MEW – koncová hodnota měřicího rozsahu



Obr. 21. – Proudová charakteristika snímače [13]

Obr. 22. – Tlakový snímač PN3070 [13]

Tab. 6. – Parametry tlakového snímače

Max. tlak	800bar
Měřicí rozsah	0÷400bar
Měřicí krok	2bar
Počet výstupů	2 (analog/digital)
Provozní napětí	18÷30V
Proudový odběr	<35mA
Ochrana proti přepólování	ANO

3 Praktická realizace elektrohydraulického systému brzd

Praktickou realizaci celého brzdového systému lze rozložit na 2 části.

- Hardwarová část - (realizace řídicí jednotky, zástavba komponentů brzdového systému, implementace kabelového svazku systému do elektroinstalace čtyřkolky)
- Softwarová část – (vývoj aplikačního software)

3.1 Hardwarová část brzdového systému

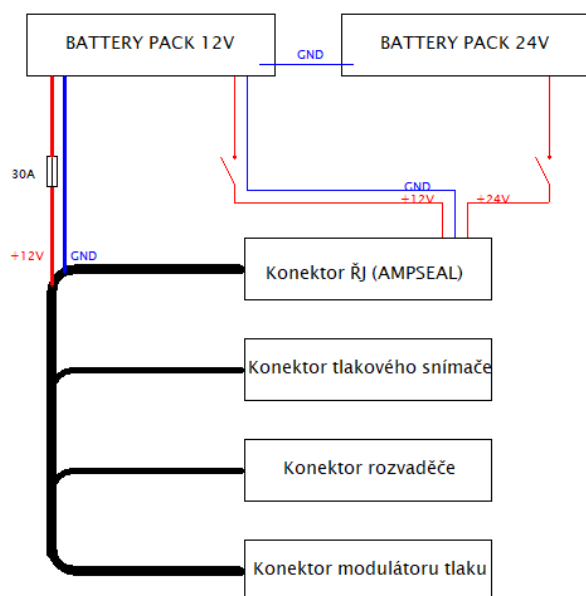
Sestavení jednotlivých částí systému brzd probíhalo souběžně a nezávisle na sobě. Na počátku realizace systému byly definovány požadavky pro komponenty a navrženo hydraulické schéma implementované nouzové brzdy. Následně byl vybírán vhodný zástavbový prostor na čtyřkolce. Do zástavbového prostoru jsou usazeny komponenty nouzové brzdy a tlakový modulátor.

Po usazení do zástavbového prostoru byl navržen hydraulický rozvod celého brzdového systému. Konkrétně se jedná o způsob připojení komponentů k hadicím a stanovení jejich rozměrů.

Realizace řídicí jednotky spočívala v doplnění obvodových řešení ŘJ první koncepce. Inovace si vyžádaly kompletně nový návrh DPS, při zachování rozměrů původní řídicí jednotky. Deska DPS byla vyrobena zakázkově, osazena však ručně.

Kabelový svazek je implementován do elektroinstalace čtyřkolky a tvoří elektrický rozvod celého brzdového systému.

3.1.1 Kabelový svazek a pinout konektorů



Řídicí jednotka je napájena pomocí spínané +12V větve. Z této napájecí větve jsou pomocí obvodových řešení tvořeny napěťové úrovně pro napájení MCU a dalších integrovaných obvodů.

Spínaná větev +24V slouží pro napájení tlakového snímače a pro ovládání rozvaděče nouzové brzdy.

Napájení ŘJ modulátoru tlaku je provedeno přes spínanou +12V větev. Silová část modulátoru (čerpadlo, ventily) je připojena přímo na battery pack +12V. Čerpadlo je chráněno 30A pojistkou.

Obr. 23. – Zjednodušené blokové schéma připojení kabelového svazku

Tab. 7. – Pinout řídicí jednotky

Typ konektoru	Pin	Funkce	Pin	Funkce	Pin	Funkce
Ampseal	1	SUPPLY +12V	13	SUPPLY +12V	24	SUPPLY +12V
	2	GND	14	GND	25	GND
	3	JTAG_TDI	15	CAN_L0	26	CAN_H0
	4	JTAG_TD0	16	CAN_H1	27	CAN_L1
	5	JTAG_TCK	17	JTAG_JCOMP	28	RESET_B
	6	JTAG_TMS	19	V_SUPPLY_SEN	29	SUPPLY +3,3V
	9	GND	20	C/Q	31	GND
	10	P_SEN	21	GND	32	GND
	11	OUT_RELE2	23	OUT_RELE_3		
	12	OUT_RELE1				

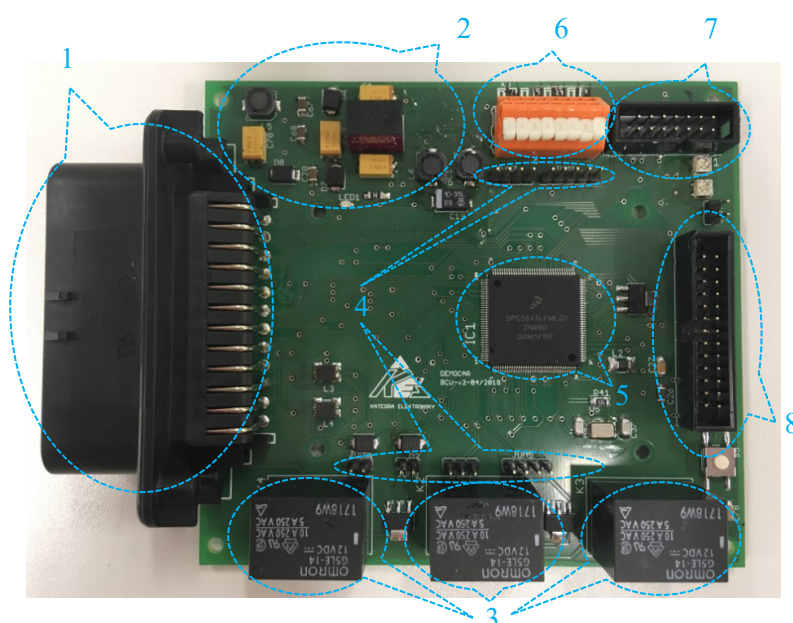
Tab. 8. – Pinout modulátoru tlaku

Typ konektoru	Pin	Funkce	Funkce	Funkce	Pin	Funkce
Konektor ABS	1	PUMP +12V	25	ŘJ, VALVE +12V	38	GND ŘJ, VALVE
	13	PUMP GND	26	CAN_H	25	
	14	CAN_L	32	SWITCH +12V	26	

Tab. 9. – Pinout tlakového snímače a rozvaděče

Typ konektoru	Pin	Funkce	Typ konektoru	Pin	Funkce
Konektor P/I	1	SUPPLY +24V	Konektor rozvaděče	1	OUT_RELE_1_IN
	2	P_SEN_OUT		2	GND
	3	GND			
	4	C/Q_OUT			

3.1.2 Řídicí jednotka

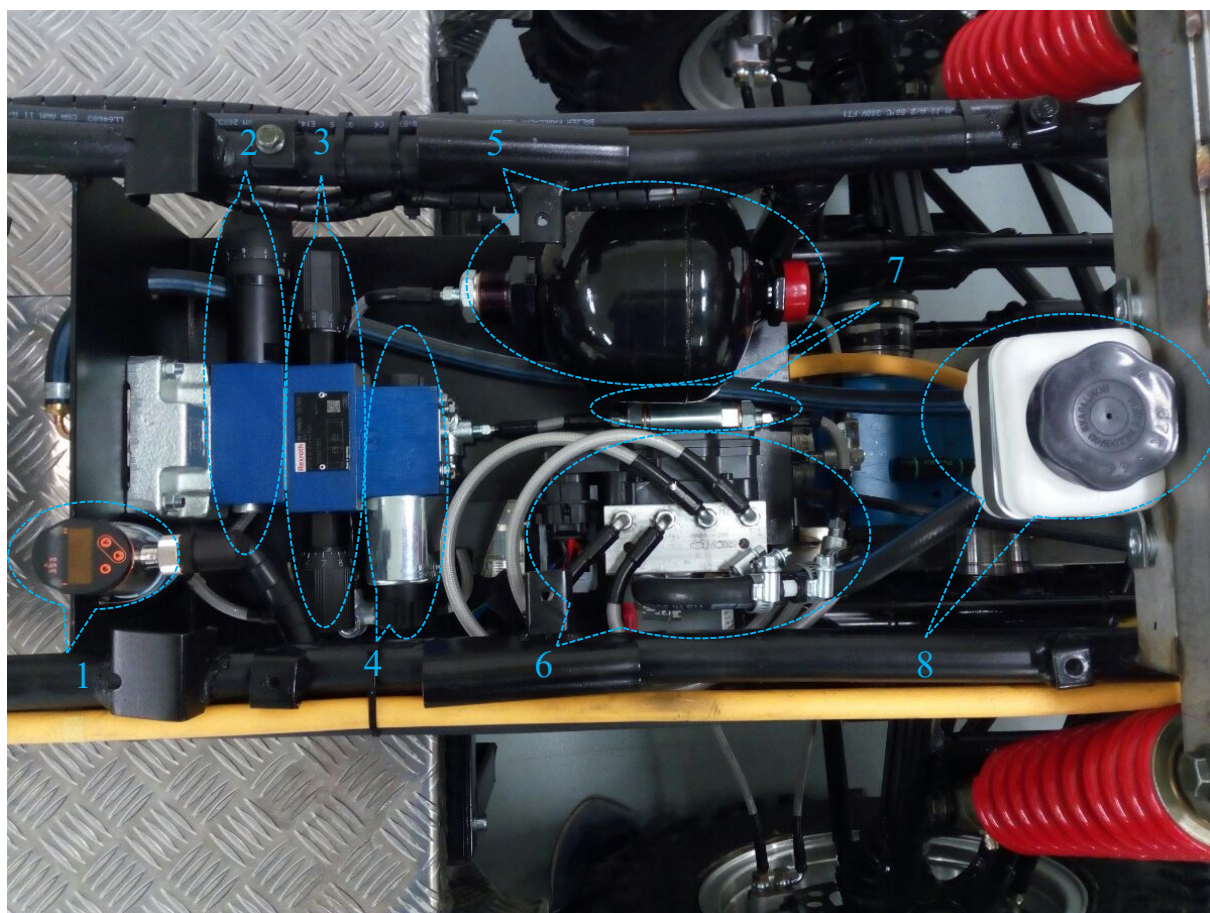


Obr. 24. – Navržená řídicí jednotka BCU

Tab. 10. – Popis ŘJ

- | | |
|----|--|
| 1. | Hlavní konektor Ampseal |
| 2. | Napájení |
| 3. | Koncové stupně (relé) |
| 4. | Měřicí porty |
| 5. | MCU |
| 6. | Konektor pro napájení nastavné desky |
| 7. | J-TAG |
| 8. | Konektor s I/O výstupy pro nastavnou desku |

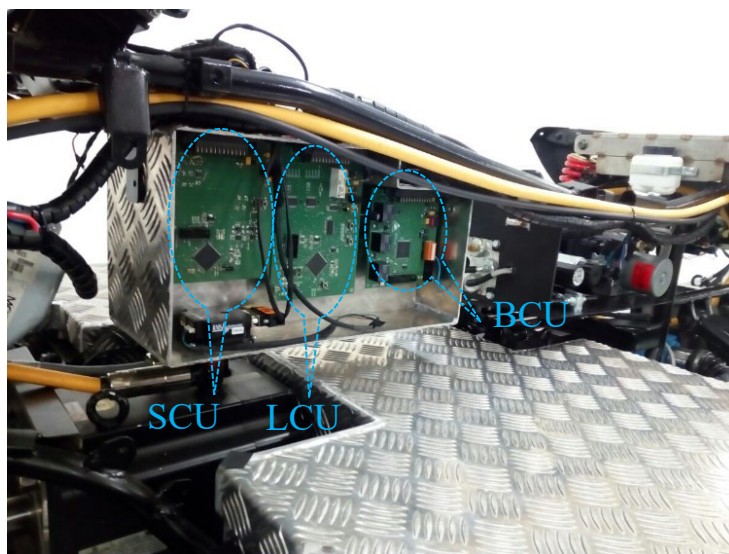
3.1.3 Zástavba komponentů nouzové brzdy



Obr. 25. – Blok hydraulické části nouzové brzdy

Tab. 11. Popis části nouzové brzdy

1. P/I snímač
2. Pojistný ventil
3. Škrťací ventil
4. 3/2 rozvaděč
5. Akumulátor tlaku
6. Modulátor tlaku
7. Jednocestný ventil
8. Nádobka s kapalinou



Obr. 26. – Uložení řídicích jednotek v boxu

3.2 Softwarová část brzdového systému

Následující část se soustředí na vývoj aplikačního software. Pro vývoj SW aplikace je použita vývojová deska TWR-PXS-20. Tato deska slouží pro realizaci aplikačního software. Ten je následně přenesen do realizované ŘJ.

3.2.1 Vývojová deska TWR - PXS20

Tato deska slouží pro vývoj a ladění vestavěných (embedded) aplikací. Může být využita jako samostatná vývojová deska nebo jako součást vývojové platformy pro modulární věžové systémy TOWER. PXS20 je navržena pro aplikace vyžadující vysokou úroveň softwarové bezpečnosti (SIL).

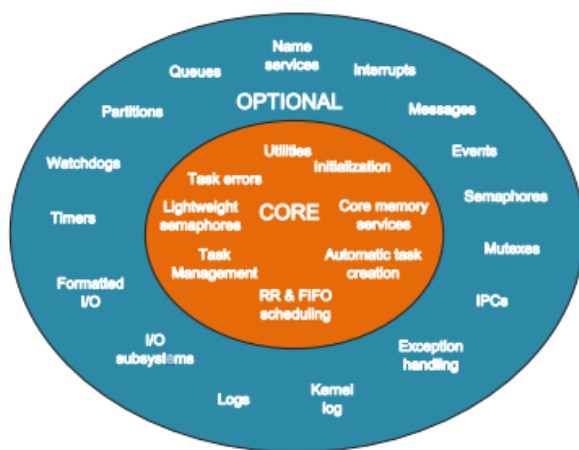
Vývojová deska obsahuje MCU SPC5643L a dále rozhraní CAN, LIN pro komunikaci, výstupy GPIO, PWM, vstupy ADC a jiné nastavitelné periferie. Vzhledem k použitým komponentům a k obvodovým řešení je zajištěna bezproblémová přenositelnost kódu do vytvořené ŘJ BCU. Deska je napájena pomocí 5V z USB, který je využit i pro komunikaci. Obsahuje však i J-TAG programovací konektor a externí napájecí konektor typu Barrel. [14]



Obr. 27 – Vývojová deska TW - PXS20

3.2.2 Operační systém MQX

MQX je operační systém reálného času (RTOS), který je využíván v embedded aplikacích. MQX poskytuje run - time knihovni funkce, které jsou nezbytné pro vykonávání primárního programu. Hlavní využitou předností MQX je možnost multitaskingu. Jedná se o souběžné vykonávání více procesů (tasků) po určitou dobu. Nové tasky mohou např. přerušit vykonávání stávajících úloh a provádět své vlastní instrukce. O řízení tohoto procesu se stará Task Managment a Scheduler.



MQX RTOS se skládá ze SW komponent jádra OS a nastavitelných komponent. Komponenty jádra jsou konfigurovatelné pouze na základě funkcí volaných MQX RTOS nebo aplikací. Pro splnění požadavků aplikace, může být rozšířena přidáním nastavitelných komponent. [15]

Obr. 28. – Rozšiřující a jádrové komponenty operačního systému MQX [15]

3.2.3 Softwarové řešení

Aplikační software v jazyce C je napsán ve vývojovém prostředí (IDE) CodeWarrior 10. 4. s použitím MQX 4.0. Výhodou tohoto prostředí je možnost využití debuggeru. Tato součást programu CW umožňuje především jednodušší a přehlednější odladění aplikace.

3.2.3.1 Požadavky pro návrh algoritmu

V počátcích sestavování SW návrhu byly definovány požadavky pro jednotlivé druhy brzd a všeobecné požadavky funkce softwaru na úrovni elektronického systému.

Požadavky na funkci nouzové brzdy:

- monitorování tlaku kapaliny v akumulátoru
- odbrzdění nouzové brzdy po inicializaci
- využití nouzové brzdy v případě poruchy modulátoru tlaku a napájení
- rozsvícení varovných světel v okamžiku brzdění

Požadavky na funkci provozní brzdy:

- brzdění na základě intenzity stanovené uživatelem (poloha páčky dálkového ovladače)
- rozsvícení brzdového světla v okamžiku brzdění

Požadavky na parkovací brzdu:

- aktivace/deaktivace parkovací brzdy prostřednictvím páčky dálkového ovladače

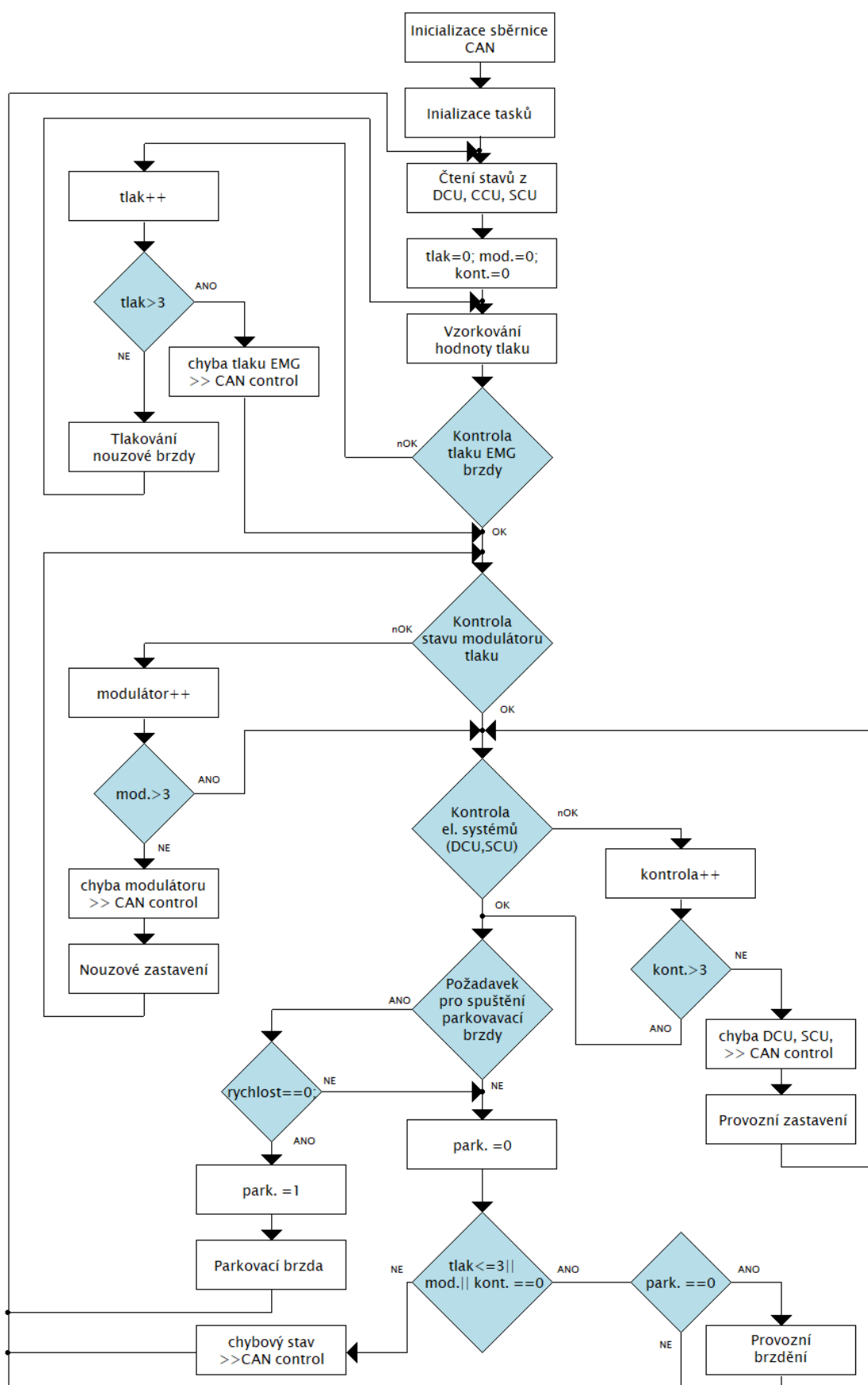
Obecné požadavky na funkci:

- čtení chybových hlášení kooperujících elektronických systémů (DCU,SCU,CCU,LCU) pomocí CAN_CONTROL (1Mbit/s)
- odesílání chybových hlášení kontroly tlaku nouzové brzdy a kontroly modulátoru tlaku pomocí CAN_ABS (500kbit/s)
- komunikace se snímačem tlaku prostřednictvím analogového vstupu a digitálního vstupu pomocí AD převodníku a rozhraní I/O Link
- deaktivace pohonu v případě brzdění

Výše shrnuté požadavky poskytují oporu při následném sestavování vývojového algoritmu.

Pro vzájemnou komunikaci mezi elektronickými systémy čtyřkolky a modulátorem tlaku je využito nastavitelné komponenty I/O subsystems (viz. obr. 22), kde jsou využity oba dva FlexCAN drivery. Pro komunikaci ŘJ s kooperujícími systémy je využit driver FlexCAN0 pojmenovaný CAN_CONTROL, pro komunikaci s modulátorem tlaku je využit druhý CAN driver s indexem 1 pojmenovaný CAN_ABS

Čtení analogové hodnoty snímače tlaku obstarává AD- převodník. Ten taktéž spadá do bloku nastavitelných komponent operačního systému MXQ.



Obr. 29. – Vývojový algoritmus aplikačního software

3.2.3.2 Popis algoritmu

Na základě sepsaných požadavků je navrhnout základní vývojový algoritmus programu. Struktura navrženého algoritmu umožňuje následné rozšíření, které budou vyvíjeny v rámci doktorského studia.

Při startu programu dochází obecně k inicializaci. Následně je nutné vyčistit stavy z DCU, SCU CCU, jako jsou chybová hlášení, rychlost vozidla, polohy ovládacích segmentů dálkového ovládání.

Prvním požadavkem pro provoz čtyřkolky je natlakování nouzové brzdy. V současné fázi testování je minimální hranice tlaku stanovena na 100bar. V případě menšího tlaku dochází k procesu natlakování. Kontrolní proměnná počítá průchody smyčkou. Nelze-li z jakéhokoli důvodu natlačit akumulátor nouzové brzdy po třech průchodech smyčkou, odešle se informace o chybě tlaku nouzové brzdy.

Další podmínkou pro provoz je kontrola stavu modulátoru tlaku. V případě přijatého chybového hlášení o poruše modulátoru tlaku se vstupuje do smyčky. Proměnná mod signalizuje průchody smyčkou. Následně dochází ke spuštění nouzové brzdy. Jestliže počet průchodů je větší než tři, vrací se vykonávání do hlavní větve. Proměnná mod tedy funguje i jako ochranný prvek proti zacyklení programu.

Kontrola systémů DCU, SCU spočívá v kontrole proměnných, ve které jsou uloženy přechtené hodnoty bajtu rámce, získaného z CAN sběrnice. V případě chyby na některém ze systémů se vstupuje do smyčky, kde se provádí zastavení čtyřkolky prostřednictvím provozní brzdy. V opačném případě je podmínka splněna a vykonávání programu se posouvá k další podmínce. Pomocí kontrolní proměnné kont jsou opět signalizovány průchody smyčkou a funguje tedy i proti zacyklení.

Požadavek pro spuštění parkovací brzdy (nouzové brzdy) je nastavován pomocí páčky na dálkovém ovládání. V případě, že je požadavek na spuštění parkovací brzdy aktivní, dojde k nastavení proměnné park. =1 a spuštění parkovací brzdy za podmínky nulové rychlosti čtyřkolky. V případě nesplnění podmínky nulové rychlosti se vykonávání programu vrací do hlavní větve a nastavuje se park. = 0, jenž je mimo podmínku provozního brzdění.

Pro aktivaci provozního brzdění je nutno splnit poslední vyhodnocovací blok v hlavní větvi. Zde je využito kontrolních proměnných. V případě nesplnění stanovené podmínky je na sběrnici vyslán globální chybový stav, který může zpracovávat např. ŘJ pohonu za účelem zastavení pohonu. Podmínka park=0 zamezuje spuštění provozní brzdy v případě spuštěné parkovací brzdy.

3.2.3.3 Popis struktury aplikačního software

Program je složen s 5 procesů (tasků):

- MAIN_TASK
- CAN_0_Rx_task (CAN_CONTROL)
- CAN_1_Rx_task (CAN_ABS)
- CONTROL_and_EMERGENCY_task
- CAN_1_Tx_task

Před spuštěním MAIN_TASKU je definována struktura TASK_TEMPLATE_STRUCT. V této struktuře jsou přiřazeny priority, určeny velikosti zásobníku, pojmenování tasků a způsoby jejich spouštění. MAIN_TASK s největší prioritou spouští jádro MQX. Ostatní tasky jsou spuštěny v MAIN_TASK.

V MAIN_TASK je inicializováno:

- CAN_CONTROL a CAN_ABS,
- GPIO pin pro přestavení rozvaděče,
- AD převodník pro snímání analogové hodnoty snímače tlaku.

V inicializaci CAN sběrnice jsou inicializovány parametry sběrnice jako identifikátor ID, velikosti datového slova, formát zprávy a především mailboxy. Funkce přijímacího RX mailboxu je uložení čtených hodnot ze sběrnice CAN do registru. TX mailboxy slouží pro odesílání zpráv na sběrnici CAN.

CAN_0_Rx_task (CAN_CONTROL) slouží pro čtení ze sběrnice CAN_CONTROL. Nejdříve se naplní RX_0_mbox a následně se mailbox zamkne z důvodu nebezpečí přepsání již načtených dat. Následně se pomocí ID vyhodnocuje přečtená zpráva, která je již uložena v registru. Po ukončení rutiny vyhodnocení se odemkne komunikační mailbox.

Tab. 12. Seznam čtených zpráv na sběrnici CAN_CONTROL

Sys.	ID	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	bajt	hodnota bajtu	registr
DCU	150	x	0	0	x	0	0	0	0	B0	0÷255	velocity_check
										B3	0 120	drive_fault
CCU	100	0	0	0	x	0	0	0	x	B3	0÷255	torque_want
										B7	0 1	transmitter_7
SCU	780	0	0	0	x	0	0	0	0	B3	0 120	steering_fault

V tabulce č. 9. je definován seznam zpráv. Datové bajty B0-B7, které jsou označeny „x“ jsou bajty, které mění svou hodnotu. Hodnoty, které mohou tyto datové bajty nabývat, jsou za dvojitou čarou tabulky. Hodnoty bajtu mohou být v určitém intervalu (zde 0÷255), např. jde-li o čtení polohy křížového ovladače dálkového ovládání nebo dvouhodnotově se měnící, např. jde-li o signalizaci poruchového stavu.

V registrech `drive_fault` a `steering_fault` se ukládají hodnoty vyčtené z přijaté zprávy na pozici bajtu B3, které reprezentující dvě hodnoty:

- 0 – bezchybný stav
- 120 – chybový stav

`CAN_1_Rx_task` (`CAN_ABS`) slouží ke čtení dat ze sběrnice `CAN_ABS`, konkrétně stavu jednotky modulátoru tlaku. Rutina běhu tasku je stejná jako v případě `CAN_CONTROL`. Pro vyhodnocení stavu se využívá bajtu B0 rámce zprávy s ID 497. Tento rámec je periodicky odeslán ŘJ modulátoru tlaku na sběrnici `CAN_ABS`. Bylo zjištěno, že tento bajt se nemění při jakékoliv činnosti modulátoru a je proto možné ho použít pro kontrolu modulátoru tlaku.

Nu...	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
7968...	12:54:46.87...	St	1200		8	255	63	255	63	255	63	255	63
7968...	12:54:46.87...	St	2		8	0	0	0	0	0	9	13	157
7968...	12:54:46.86...	St	497		8	11	255	255	255	255	255	255	255
7968...	12:54:46.86...	St	544		8	255	135	255	135	9	128	255	159
7968...	12:54:46.86...	St	339		8	192	41	160	255	0	255	48	183
7968...	12:54:46.86...	St	2		8	0	0	0	0	0	9	12	128
7968...	12:54:46.86...	St	1201		8	255	255	255	255	255	0	0	251
7968...	12:54:46.85...	St	544		8	255	135	255	135	12	128	255	159
7968...	12:54:46.85...	St	339		8	192	41	160	255	0	255	32	167
7968...	12:54:46.85...	St	1200		8	255	63	255	63	255	63	255	63
7968...	12:54:46.85...	St	2		8	0	0	0	0	0	9	11	211
7968...	12:54:46.84...	St	544		8	255	135	255	135	12	128	255	159
7968...	12:54:46.84...	St	497		8	11	255	255	255	255	255	255	255
7968...	12:54:46.84...	St	339		8	192	41	160	255	0	255	16	151
7968...	12:54:46.84...	St	2		8	0	0	0	0	0	9	10	206
7968...	12:54:46.84...	St	1201		8	255	255	255	255	255	0	0	251

Obr. 24. Tabulka odeslaných zpráv modulátoru tlaku

V `CONTROL_and EMERGENCY_tasku` probíhá zpracování a vyhodnocení bezpečnostních částí brzděného algoritmu, konkrétně:

- vzorkování hodnoty napětí A/D převodníku,
- kontrola tlaku nouzové brzdy,
- kontrola stavu modulátoru tlaku,
- kontrola spolupracujících el. systémů (DCU, SCU).

Informace ze snímače tlaku je poskytována skrze proudovou smyčku 4-20mA v rozmezí 0-200bar. Údaj je v řídicí jednotce převeden na hladinu napětí a snímán A/D převodníkem. Vzorkovaná hodnota je následně porovnávána s hodnotou, která reprezentuje 100bar. Tato hodnota byla zjištěna aproximací převodní charakteristiky snímače.

Pokud je vzorek menší než 100 bar, provádí se inkrementace proměnné „tlak“ následně se vyhodnocuje její podmínka.

Je-li podmínka vyhodnocena jako $kont < 3$, odesílá se požadavek pro zvýšení tlaku prostřednictvím sběrnice CAN_ABS do modulátoru tlaku. Jelikož ABS modulátor pracuje v diagnostickém režimu, je nutné odesílat následující sekvence zpráv pod ID 2001, které tomuto režimu patří. Sekvence zpráv sloužící k vyvolání brzdného účinku je podmíněna:

- zprávou pro uvedení modulátoru tlaku do diagnostického režimu,
- zprávou pro povolení čerpadla a příslušné kombinace ventilů.

Modulátor tlaku je aktivní v diagnostickém režimu 5s. V případě požadavku modulace tlaku v brzdovém systému po uplynutí zmíněné doby je nutno odeslat požadavek pro aktivaci diagnostického režimu znovu.

V případě, kdy po 3 průchodech smyčkou pro natlakování okruhu nouzové brzdy nedosáhne tlak minimálně 100 bar, odešle chybové hlášení na CAN_COTROL. Proměnná tlak slouží proti zacyklení programu ve smyčce a je použita jako součást finální podmínky pro povolení provozní brzdy.

Tab. 13. Formát chybové zprávy „chyba tlaku EMG“

ID	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
140	0	0	0	17	0	0	0	0

Po zpracování tlakové podmínky se vykonávání posouvá k podmínce - kontrola stavu modulátoru tlaku.

Program projde vyhodnocovací podmínkou v případě, je-li hodnota bajtu B0 = 11.

V případě, že se v bajtu B0, ve zprávě s ID 497 vyskytne jiná hodnota než 11 anebo dojde k neuložení hodnoty v B0 (po průchodu podmínkou se registr do kterého je uložen obsah bajtu nuluje), podmínka pro kontrolu modulátoru tlaku nebude splněna. Při vstupu do vyhodnocovací smyčky při nesplnění podmínky se odešle na CAN_CONTROL chybový stav, který vypne pohon čtyřkolky a bude spuštěno nouzové brzdění, přestavením rozvaděče do polohy (P-A).

Proměnná mod má stejnou funkci jako proměnná tlak, která je použita pro tlakovou podmínku popsanou výše.

Tab. 14. Formát chybové zprávy „chyba modulátoru“

ID	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
140	0	0	0	18	0	0	0	0

Kontrola kooperujících elektronických systémů DCU a SCU spočívá v porovnávání proměnných `drive_fault` nebo `steering_fault` s hodnotou 120. Pokud jsou systémy v pořádku, zprávy na CAN_CONTROL pod ID 150 a 780 mají hodnoty bajtu B3 = 0. V CAN_0_Rx_task se provádí jejich uložení do zmíněných proměnných.

V případě hlášení chyby jednoho nebo obou systémů se do proměnných uloží hodnota 120, která se vyskytne na sběrnici CAN_CONTROL pod zmíněnými identifikátory. Program vstoupí do smyčky, kde se provádí odesílání brzdných sekvencí do CAN_ABS. I zde je založena kontrolní proměnná `kont`, která má stejnou funkci jako dvě předešlé kontrolní proměnné.

Tab. 15. Formát chybové zprávy „chyba DCU, SCU“

ID	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
140	0	0	0	19	0	0	0	0

CAN_1_Tx_task slouží pro odesílání brzdných sekvencí do modulátoru tlaku skrze sběrnici CAN_ABS. Jeho další činností je provádění vykonávání následujících částí algoritmu, tedy:

- vyhodnocení požadavku pro spuštění parkovací brzdy,
- podmínka pro povolení provozního brzdění,
- algoritmu provozního brzdění,

Páčka na dálkovém ovladači složí uživateli k aktivaci parkovací brzdy. Při přestavené páčky do aktivní polohy odesílá řídicí jednotka CCU tento požadavek skrze zprávu s ID 100 v bajtu B7. Spuštění parkovací brzdy je podmíněno 0 rychlostí čtyřkolky. Následně je nastavena kontrolní proměnná `park` do hodnoty, která signalizuje aktivaci parkovací brzdy. V případě, že je podmínka rychlosti neplatná, dochází k návratu do hlavní větve programu.

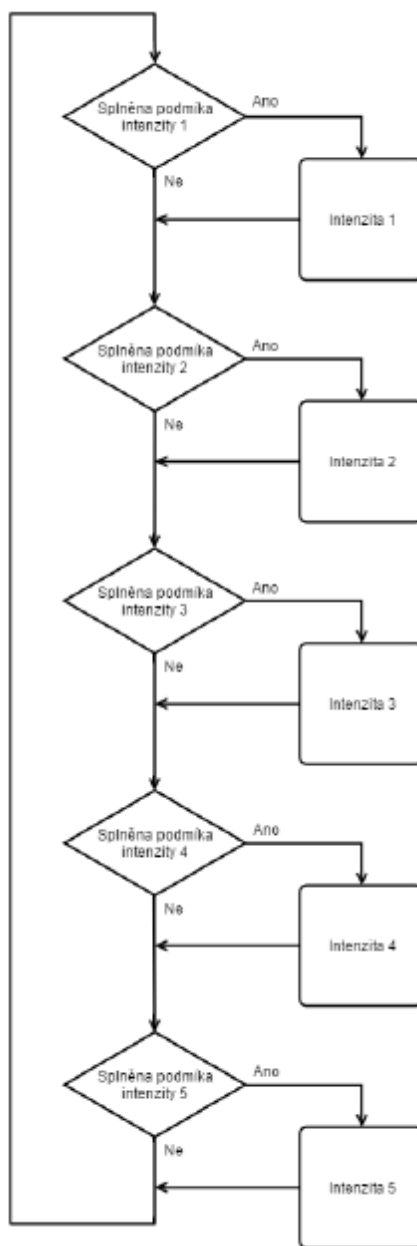
Pro podmínku povolení provozního brzdění je využito globálních kontrolních proměnných `tlak`, `mod` a `kont`. Podmínka `tlak <= 3` je z důvodu možnosti vícenásobného vstupu do tlakovací smyčky, v případě hlubokého poklesu tlaku ve větvi nouzové brzdy. Další dvě podmínky jsou rovny 0 a signalizují bezporuchový stav. V případě, že program neprojde podmínkou je nastaven formát chybového hlášení a odeslán na sběrnici CAN_CONTROL. Ten bude v budoucnu sloužit pro zastavení pohonu zprostředkovaného el. systémem BCU.

Tab. 16. Formát chybové zprávy „globální chybový stav“

ID	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
140	0	0	0	120	0	0	0	0

Algoritmus provozního brzdění stojí na vyhodnocení polohy křížového ovladače a aktuální rychlosti čtyřkolky. Hodnoty těchto parametrů jsou čteny v CAN_0_Rx_task a ukládány do proměnných torque_want a velocity. V případě povolení podmínek pro provozní brzdění se začne provádět brzdňý algoritmus.

Původní řešení algoritmu provozní brzdy počítalo s využitím 5 brzdňých intenzit. Vyhodnocená brzdňá intenzita byla výsledkem porovnávání polohy křížového ovladače dálkového ovládání a rychlosti vozidla. Tento algoritmus nemůže být použit z důvodu navýšení počtu brzdících elementů a zvýšení maximální rychlosti čtyřkolky až na 120km/h. Tento algoritmus je prozatím ve stádiu vývoje.



Obr. 30. – Původní algoritmus provozního brzdění

4 Ověření funkce

Ověření funkčnosti navrhovaného systému je rozděleno hardwarovou a softwarovou. V případě hardwarové funkčnosti navrženého systému se jedná o demonstraci:

- správné funkce hydraulického obvodu, zejména obvodu nouzové brzdy,
- funkce navržené desky ŘJ a její obvodových řešení.
- Převodní charakteristika snímače tlaku

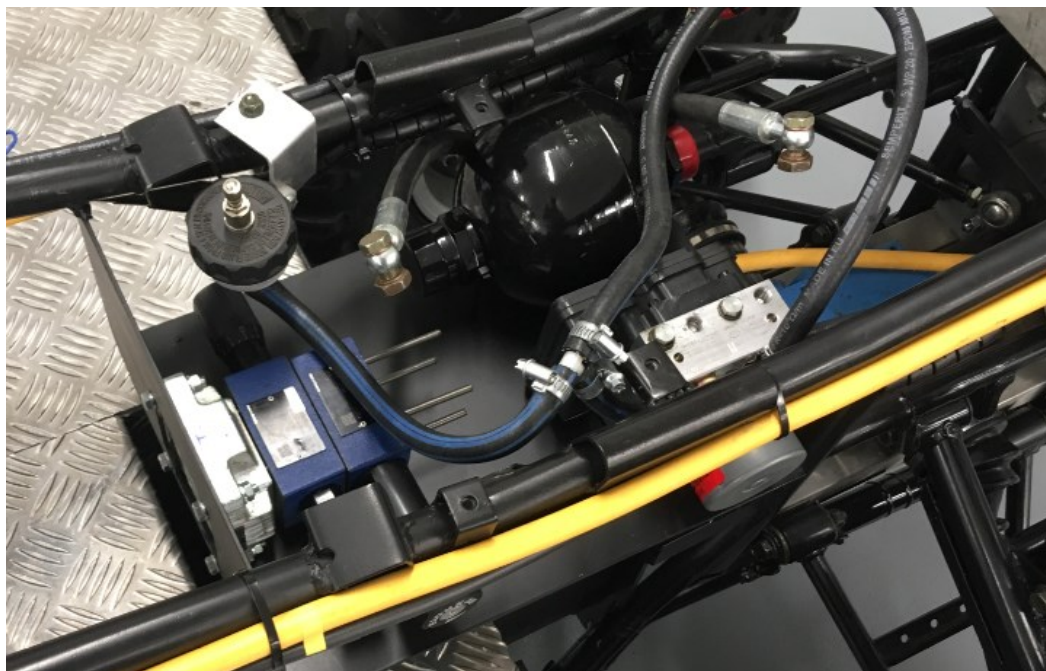
Softwarová funkčnost se soustředí na funkci navrženého aplikačního softwaru. Jelikož je aplikační software stále ve fázi vývoje, především vývoj části provozního brzdění, je ověření funkce soustředěno na jednotlivé části funkčního software.

4.1 Popis seskládání a odvzdušnění

Mezi prvními úkony realizace této diplomové práce patří výběr komponentů nouzové brzdy a jejich zástavba do rámu čtyřkolky. Místo pro zástavbu bylo vybráno za boxem pro řídicí jednotky. Následně byla provedena montáž komponentů do tohoto prostoru. Poloha komponentů byla předmětem diskuze se studenty doktorského studia.



Obr. 31. – Volba polohy komponentů



Obr. 32. – Proces zástavby komponentů do prostoru rámu čtyřkolky

Další krokem po zástavbě komponentů byla volba hadic pro vytvoření příslušných hydraulických okruhů. Pancéřové hadice od firmy Bekas splňovali požadavky, především na maximální tlak v systému, velikosti průměru hadice a celkové estetiky. Objednávku tvořily i zalisované koncovky a redukce pro připojení k prvkům s trubkovými závitů G.



Obr. 33. – Redukce G1/2 na M10x1



Obr. 34. – Montáž hadice na brzdový třmen

Po seskládání komponentů do zástavbového prostoru a hadic následoval proces odvzdušnění hydraulické soustavy.

Úspěšné provedení tohoto nezbytného úkonu je podmíněno postupem, který je nutno dodržet. Pro odvzdušnění byl sepsán jednoduchý algoritmus, který pomocí sběrnice CAN_ABS periodicky odesílá zprávy pro spuštění čerpadla modulátoru tlaku.

1. Nalít brzdovou kapalinu (DOT4) do nádoby
2. Držet nádobku pod tlakem (tlak cca do 2bar)
3. Odvzdušnění provozní brzdy s vypojenými hadicemi nouzové brzdy od tělesa brzdíče a rozvaděčem v poloze P-A
4. Odvzdušnění nouzové brzdy

ad 2) tlakování nádoby není nutno podmínkou, čerpadlo si kapalinu po chvíli nasaje. Tlakování nádoby kapaliny slouží pro urychlení procesu. Je nutné si zhotovit přípravek (viz. Obr. 35).

ad 3) Při procesu odvzdušnění provozní brzdy se povolí odvzdušňovací šroub na kolu přední nápravy a spustí se algoritmus pro uvedení čerpadla do činnosti. Kapalina by měla protékat přes odvzdušňovací šroub. Pokud se tak neděje po delším časovém úseku, utáhneme odvzdušňovací šroub a přesouváme se ke druhému kolu přední nápravy, kde úkon opakujeme. Následuje zadní náprava. Tyto úkony opakujeme až do doby, kdy přes odvzdušňovací šrouby teče kapalina bez vzduchových bublinek.

Vypojení hadic nouzové brzdy je nutnou podmínkou. Hadice nouzové brzdy vedoucí ke kolům vyšroubujeme z tělesa brzdíče a umístíme do nádoby. Přívod tlakové kapaliny do obvodu nouzové brzdy je brán z hadice vedoucí k levému zadnímu kolu pomocí „T“ kusu. Při odvzdušňování provozní brzdy tak kapalina proudí skrze otevřený rozvaděč nouzové brzdy do nádoby a zčásti odvzdušní i nouzovou brzdu. Po ukončení odvzdušnění této části nezapomeneme namontovat hadice zpět na brzdíče.

ad 4) Poslední úkon je natlakování nouzové brzdy. Pokud se tento proces nedaří, je nutné se povolit přívody hadic k akumulátoru a tlakovému snímači. Následně spouštíme čerpadlo. Při průtoku kapaliny bez známek zavzdušnění připojíme hadici zpět k nouzové ke komponentům. Nyní by již mělo docházet k tlakování nouzové brzdy. Kontrolou nám může být snímač tlaku a také zabrzdění zadní nápravy.

Během zmíněných procesů je nutno neustále kontrolovat stav kapaliny v nádobce.



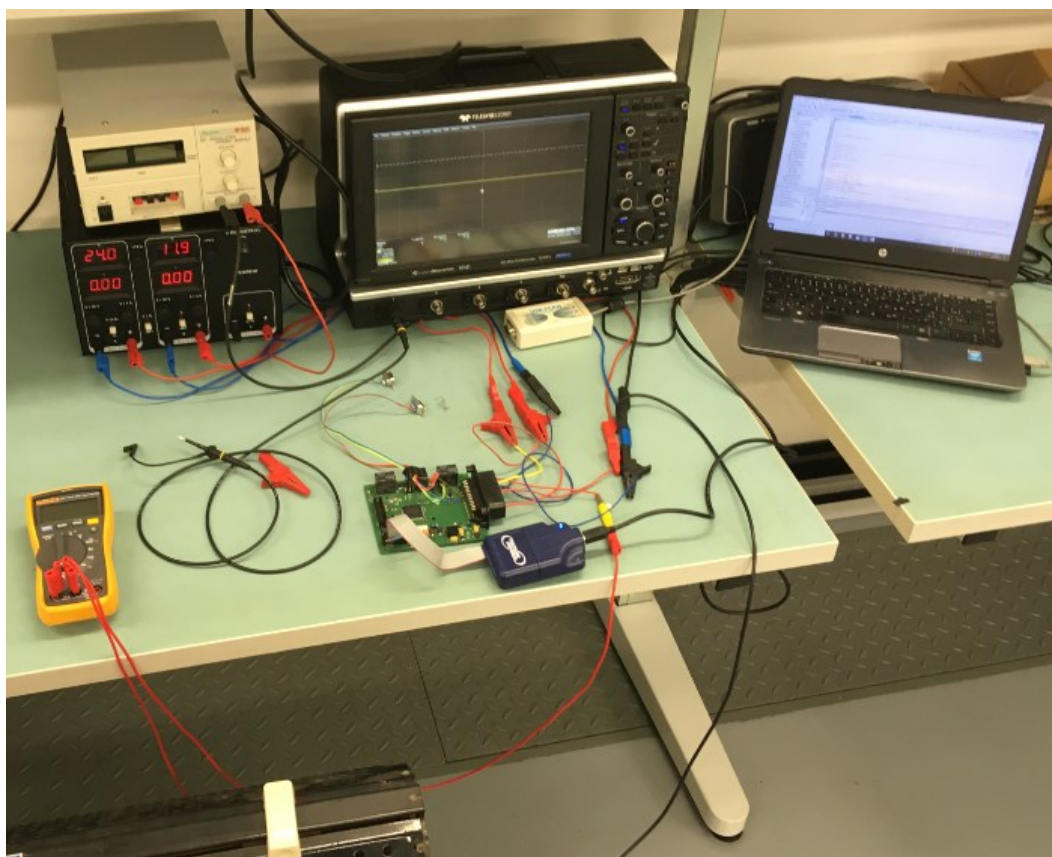
Obr. 35. – Přípravky pro odvzdušnění

4.2 Funkční demonstrace navržené desky řídicí jednotky

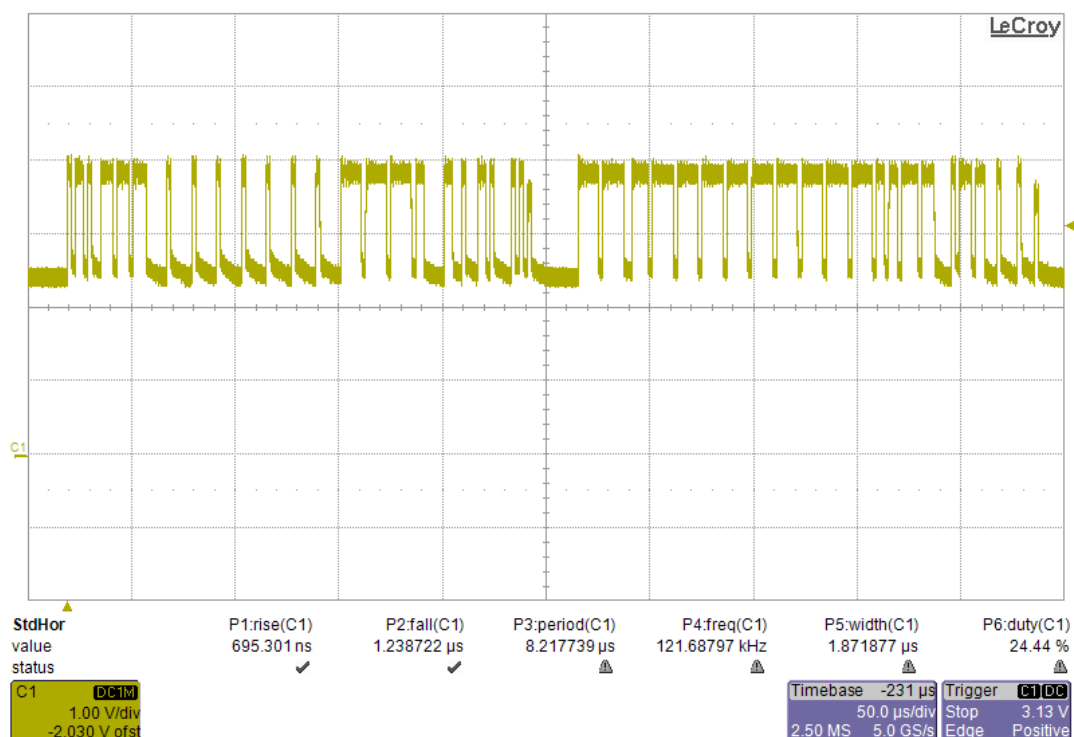
Deska BCU byla navržena v programu EAGLE 7.2.0. Do návrhu jsou implementovány veškeré stanovené požadavky (viz kapitola 2.5). Převzatá obvodová řešení z první koncepce, do které jsou zakomponovány návrhy popsané v kapitole 2.5, jsou zcela nově navrhnuté cesty DPS.

Uvedení desky do provozu probíhalo postupně. Nejprve byly spuštěny napájecí obvody a proměřeny úrovně napětí. V druhém kroku byl osazen MCU a uveden do provozu.

V posledním kroku byly uvedeny do provozu drivery CAN. Zde byl nalezen problém v návrhu desky. Navrhnuté cesty DPS obvodových řešení CAN driverů jsou nerovnoměrně dlouhé a tvoří smyčky. Výsledkem je signál s posunutou úrovní (offsetem) a z rušením při změně stavu. Následující problémy jsou řešeny experimentálně, konkrétněji jinými hodnotami pasivních prvků v okolí CAN driverů. Výsledkem je snížení úrovně offsetu a zmenšení zarušení signálu při změně stavu. Neřešení tohoto problému vedlo k chybné v komunikaci mezi systémy a vytvoření zdroje rušení, které ovlivňuje funkci dalších elektronických zařízení v dosahu.

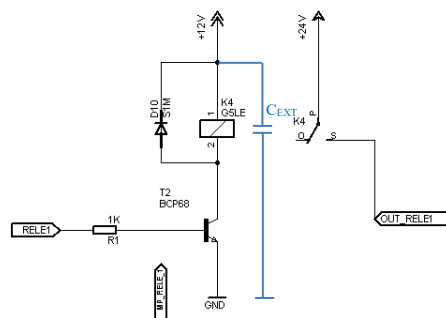


Obr. 36. – Měřící stanoviště

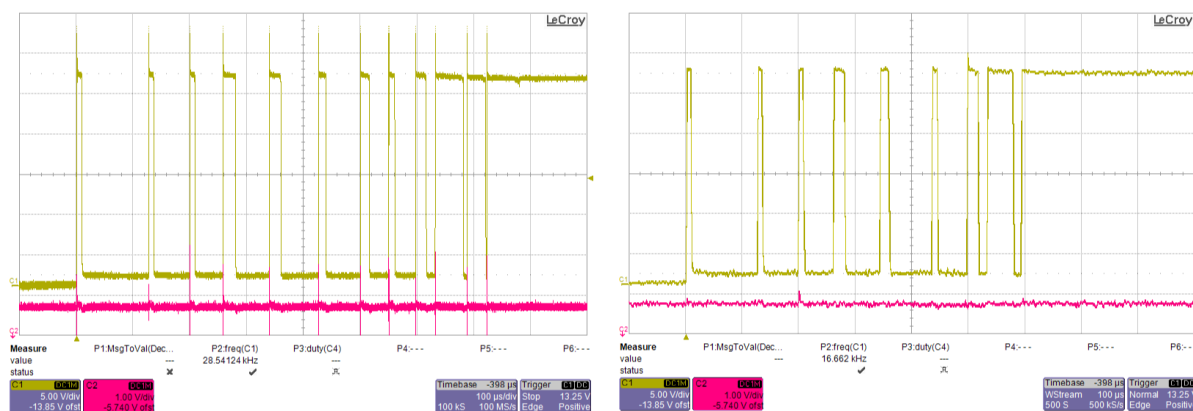


Obr. 37. – Signál CAN HIGH

Dále bylo zjištěno rušení na sběrnici CAN v okamžiku sepnutí relátka. Tento problém byl odstraněn přidáním keramického kondenzátoru $C=47\text{nF}$ paralelně ke zpětné diodě, která je zapojena antiparalelně k ovládací cívice relé. Obr 39. ukazuje spínání relé před montáží kondenzátoru.



Obr. 38. – Upravený obvod pro spínání rozvaděče



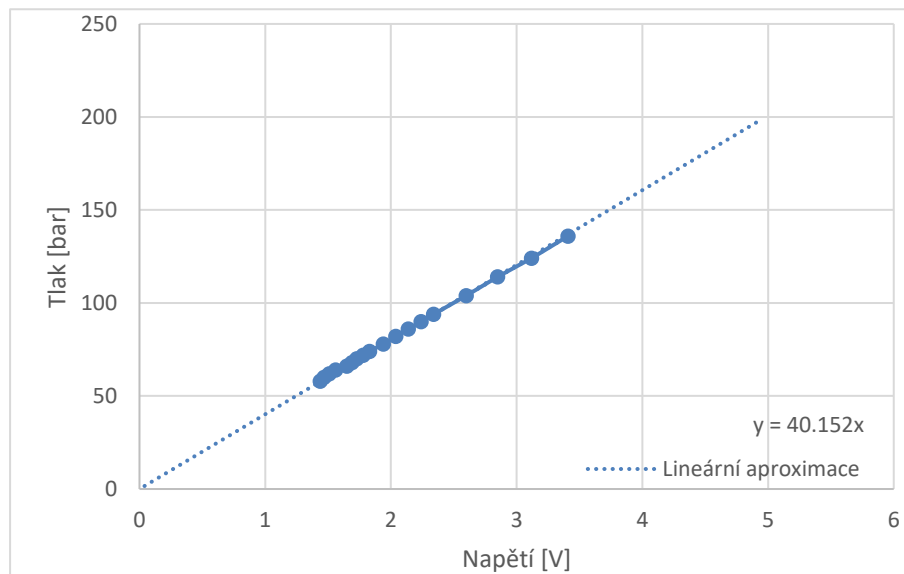
Obr. 39. a 40. – Spínání relé. (žlutá – napětí relé; červená – CAN bus)

4.3 Převodní charakteristika snímače tlaku

Analýza této charakteristiky byla důležitá pro zjištění mezní hodnoty tlakování nouzové brzdy. Charakteristika byla proměřena jen v určitém intervalu a následně aproximována. Pomocí aproximované přímky byla zjištěna hodnota konstanty k , matematické funkce přímky. Tato hodnota je následně použita pro přepočítání mezi napětím [V] a tlakem [bar].

Tab. 17. – Hodnoty převodní char.

napětí [V]	tlak [P]
1.44	58
1.47	60
1.51	62
1.56	64
1.65	66
1.69	68
1.73	70
1.78	72
1.83	74
1.94	78
2.04	82
2.14	86
2.24	90
2.34	94
2.6	104
2.85	114
3.12	124
3.41	136



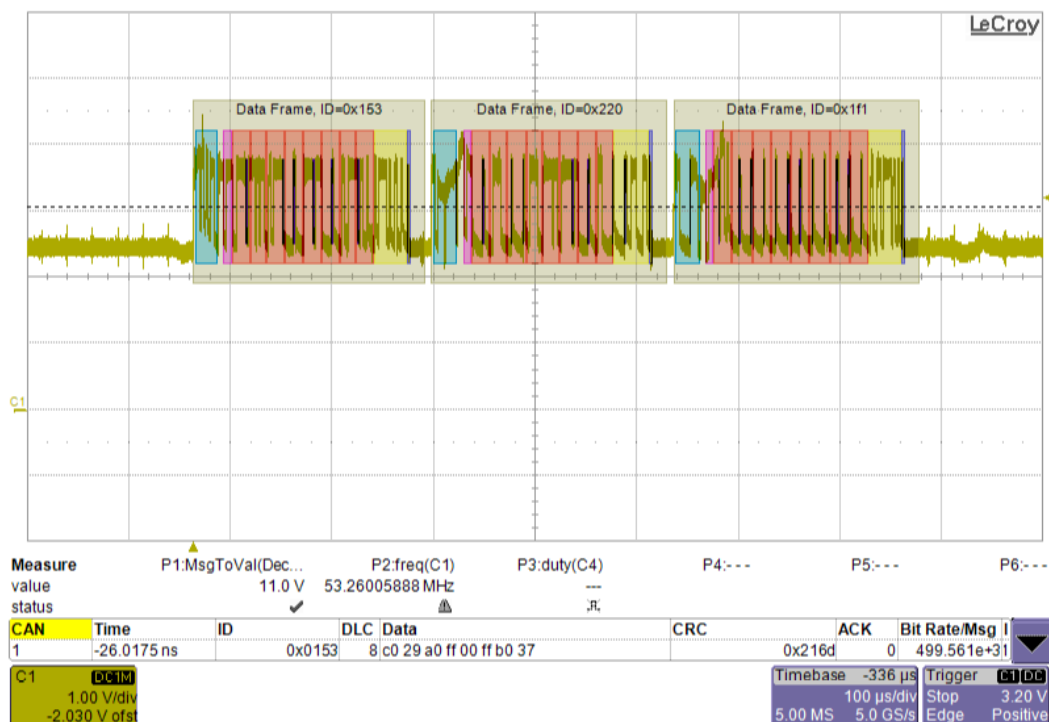
Obr. 41. Převodní charakteristika snímače

4.4 Funkční demonstrace navrženého softwarového řešení

Demonstrování funkčnosti je rozděleno na funkční části.

4.4.1 Komunikace s modulátorem ABS

Pro čtení a odesílání zpráv na sběrnici byl použit program PP2CAN, který obsluhuje převodník USB2CAN. Ten v tomto případě sloužil jako zpětnovazební informace o odesílání zpráv aplikačním programem.



Obr. 42. Datové rámce na CAN_ABS sběrnici

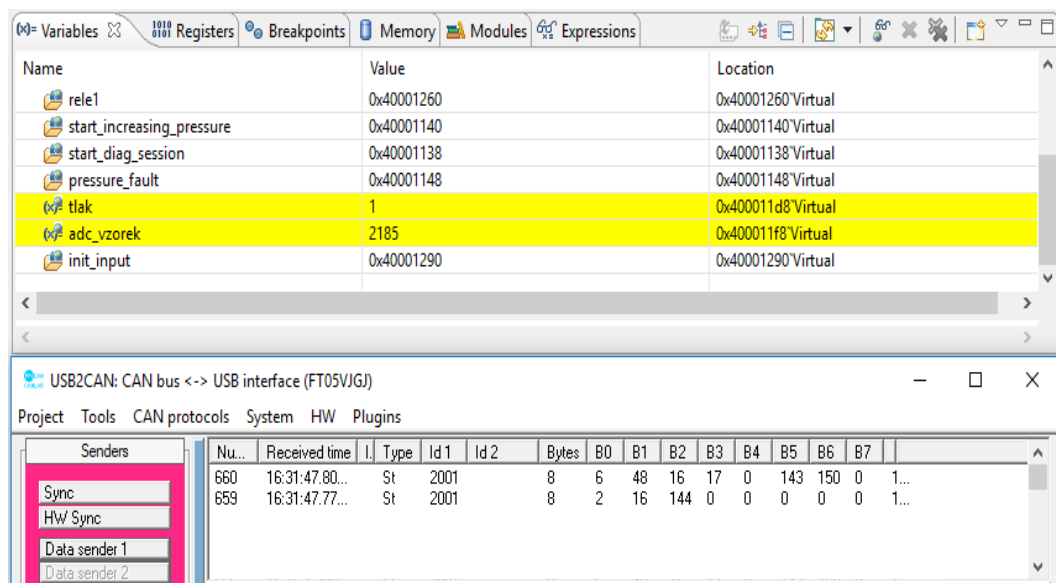
Na oscilogramu jsou zachyceny tři rámce zprávy a jejich ID jsou hexadecimálně popsány. Po převedení do decimální soustavy se jedná o rámce 339, 544, 497. Tyto rámce jsou přečteny i pomocí PP2CAN. V dolním okraji jsou zachyceny i datové bajty zprávy.

Nu...	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
7968...	12:54:46.87...	St	1200		8	255	63	255	63	255	63	255	63
7968...	12:54:46.87...	St	2		8	0	0	0	0	0	9	13	157
7968...	12:54:46.86...	St	497		8	11	255	255	255	255	255	255	255
7968...	12:54:46.86...	St	544		8	255	135	255	135	9	128	255	159
7968...	12:54:46.86...	St	339		8	192	41	160	255	0	255	48	183
7968...	12:54:46.86...	St	2		8	0	0	0	0	0	9	12	128
7968...	12:54:46.86...	St	1201		8	255	255	255	255	255	0	0	251
7968...	12:54:46.85...	St	544		8	255	135	255	135	12	128	255	159
7968...	12:54:46.85...	St	339		8	192	41	160	255	0	255	32	167
7968...	12:54:46.85...	St	1200		8	255	63	255	63	255	63	255	63
7968...	12:54:46.85...	St	2		8	0	0	0	0	0	9	11	211
7968...	12:54:46.84...	St	544		8	255	135	255	135	12	128	255	159
7968...	12:54:46.84...	St	497		8	11	255	255	255	255	255	255	255
7968...	12:54:46.84...	St	339		8	192	41	160	255	0	255	16	151
7968...	12:54:46.84...	St	2		8	0	0	0	0	0	9	10	206
7968...	12:54:46.84...	St	1201		8	255	255	255	255	255	0	0	251

Obr. 43. Datové rámce na CAN_ABS sběrnici

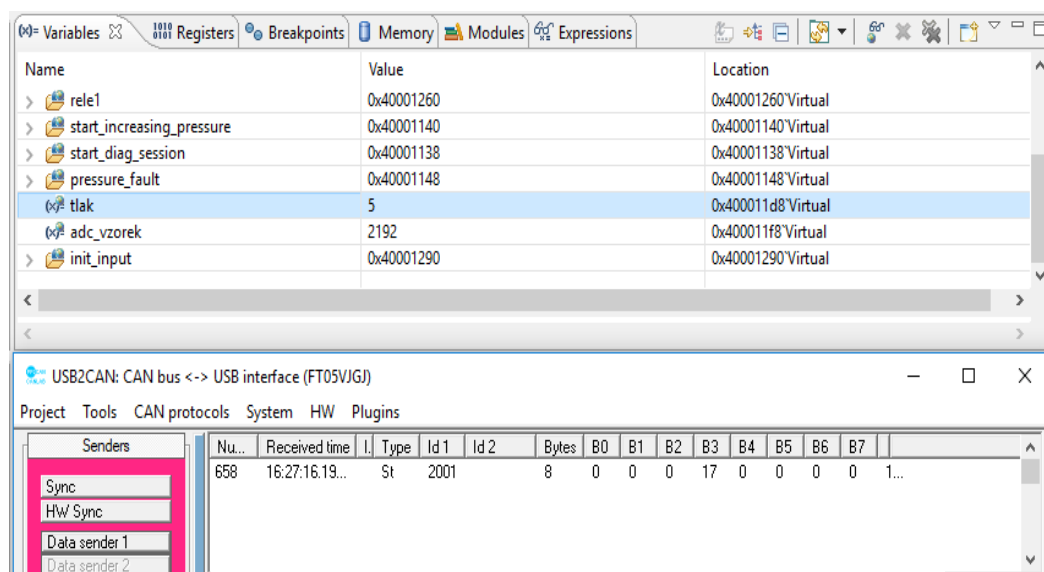
4.4.2 Simulace chyb tlakování, modulátoru tlaku a DCU, SCU systému

Pro simulaci chyb byl použit debugger programu CodeWarrior 10.4, a program PP2CAN. Z důvodu nemožnosti připojení dvou USB2CAN pro CAN_CONTROL i CAN_ABS, je využita pouze jedna sběrnice. Proto jsou všechny odeslané zprávy pod ID 2001, který patří CAN_ABS.



Obr. 44. - Simulovaná chyba tlaku nouzové brzdy

V proměnné `adc_vzorek` je uložena právě vzorkovaná hodnota napětí. Vzorek je podmínkou vyhodnocen jako nízký tlak modulátoru. Proměnná `tlak` signalizuje první průchod smyčkou. V dolní polovině obrázku jsou zprávy zachycené programem PP2CAN. Jedná se o sekvenci dvou zpráv. První povoluje diagnostický režim, druhá spouští čerpadlo. Čerpadlo je spuštěné 3s.



Obr. 45. - Simulovaná chyba tlaku nouzové brzdy

V případě více průchodů smyčkou (v tomto případě 5x), se začne periodicky posílat chyba na sběrnici `CAN_CONTROL` signalizující nízký tlak v systému.

The screenshot shows a simulation interface with a 'Variables' window at the top and a 'USB2CAN: CAN bus <-> USB interface (FT05VJGJ)' window below it. The 'Variables' window lists several variables with their current values and memory locations. The 'USB2CAN' window shows a list of senders on the left and a table of received messages on the right.

Name	Value	Location
drive_fault	0	0x40001265 Virtual
steering_fault	0	0x40001264 Virtual
emergency_brake_status	0	0x400011b1 Virtual
rele1	0x400012d8	0x400012d8 Virtual
abs_fault	0x400011a0	0x400011a0 Virtual
mod	1	0x40001250 Virtual
abs_response	0	0x400011b0 Virtual
start_increasing_pressure	0x40001180	0x40001180 Virtual

Nu...	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
489	16:39:17.92...	St	2001		8	0	0	0	18	0	0	0	1...

Nu...	Sent time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
2060...	16:41:56.341	St	150		8	0	0	0	0	0	0	0	0
2060...	16:41:56.325	St	497		8	0	0	0	0	0	0	0	1...
2060...	16:41:56.325	St	780		8	0	0	0	0	0	0	0	1...
2060...	16:41:56.309	St	150		8	0	0	0	0	0	0	0	1...

Obr. 46. - Simulovaná chyba modulátoru nouzové brzdy

V tomto případě je simulovaná chyba pomocí odesílání chybového stavu PP2CAN převodníkem. Jedná se o bajt B0 identifikátoru 497, který má hodnotu 0. Kontrolní proměnná mod signalizuje jeden průchod. Následně byla odeslána zpráva o chybě modulátoru tlaku a spuštěno nouzové brzdění. Spuštění nouzové brzdy signalizuje proměnná emergency_brake_status. Tato proměnná je aktivní v 0. Proměnná abs_response slouží pro uložení hodnoty vyčtené na sběrnici CAN_CONTROL.bV této proměnné je právě uložena 0, která představuje chybový stav.

The screenshot shows a simulation interface with a 'Variables' window at the top and a 'USB2CAN: CAN bus <-> USB interface (FT05VJGJ)' window below it. The 'Variables' window lists several variables with their current values and memory locations. The 'USB2CAN' window shows a list of senders on the left and a table of received messages on the right.

Name	Value	Location
scu_dcu_fault	0x400011a8	0x400011a8 Virtual
kont	0	0x40001251 Virtual
drive_fault	0	0x40001265 Virtual
steering_fault	120	0x40001264 Virtual
emergency_brake_status	0	0x400011b1 Virtual
rele1	0x400012d8	0x400012d8 Virtual
abs_fault	0x400011a0	0x400011a0 Virtual
mod	0	0x40001250 Virtual

Nu...	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
513	17:30:8.37...	St	2001		8	6	48	16	17	0	3	255	0 1...
512	17:30:7.984...	St	2001		8	6	48	16	17	0	143	15	0 1...
511	17:30:7.956...	St	2001		8	2	16	144	0	0	0	0	1...
510	17:28:37.14...	St	2001		8	0	0	0	19	0	0	0	1...

Nu...	Sent time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
4965...	17:30:52.779	St	150		8	0	0	0	0	0	0	0	0
4965...	17:30:52.763	St	780		8	0	0	0	120	0	0	0	1...
4965...	17:30:52.748	St	780		8	0	0	0	120	0	0	0	1...
4965...	17:30:52.748	St	497		8	11	0	0	0	0	0	0	1...

Obr. 47. - Simulovaná chyba SCU

Chybový stav DCU nebo SCU je opět simulován PP2CAN. Hodnota bajtu B3=120 pro identifikátor 780 je čtena v CAN_0_Rx_task (CAN_CONTROL) a ukládána do proměnné steering_fault. Reakce na

tuto skutečnost vyplívá z tabulky přijatých zpráv v prostředí PP2CAN. Nejprve je odeslána zpráva o chybě DCU nebo SCU a následně se provádí brzdící sekvence.

5 Závěr

Cíl práce, tedy realizace komplexního brzdového systému je z hlediska hardwarových zcela splněn. Softwarové řešení je zatím ve fázi vývoje, především části algoritmu zabývající se intenzitou brzdného momentu provozní brzdy. Části algoritmu, které se starají o komunikaci brzdového systému s kooperujícími elektronickými systémy, vyhodnocení stavů kooperujících elektronických systémů, jsou vyvinuty a popsány v praktické realizaci této práce.

Hydraulické schéma plní podmínky stanovené při sestavování požadavků na brzdový systém. Hlavní podmínkou je zabrzdění kol při ztrátě napájení a možnost elektronického ovládání nouzové brzdy. Ovládání nouzové brzdy je zatím využito v případě chybového hlášení modulátoru tlaku. V případech chybového hlášení od kooperujících systémů se provádí brzdná sekvence za použití sekvence provozní brzdy.

Návrh řídicí jednotky je taktéž plně funkční. Vyvinutá ŘJ jednotka dokáže komunikovat skrze sběrnici CAN, ovládat relé rozvaděče, snímat analogové a digitální vstupy snímače tlaku. Deska umožňuje i rozšíření o nastavnou desku, která může využívat I/O piny procesoru a napájení určitých napětíových hladin. Dále jsou na desce měřící body umožňující snadnou diagnostiku v případě poruchy.

V teoretické části práce jsou rozebrány všechny veškeré elektronické systémy čtyřkolky Democar. Požadavky literární rešerše jsou především kladeny na popis funkcionality elektronických systémů a náhled do struktury jednotlivých systémů. Strukturní pohled přibližuje blokové schéma elektronických systémů a subsystémů v kapitole 1.

Praktická realizace se neobešla bez komplikací. První komplikací byla dodávka hadic a příslušenství nutných pro zástavbu. Byly osloveny tři podniky, z toho jediná Bekas byla schopná z výjimkou pár menších nepřesností v komunikaci jednat na úrovni. Zhotovení tří objednávkových listů, vysvětlení požadavků obchodním zástupcům, kteří následně nebyly schopni smysluplně reagovat, stálo mnoho času.

Seznam použité literatury

- [1] VLK. F, *Elektronické systémy motorových vozidel*[online] [cit. 2018.05.20]
URL: < <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-04-193-212.pdf>>
- [2] T. Osička, *Diplomová práce, Technologie vnitřní a uživatelské diagnostiky demonstračního vozidla s elektrickým Democar*, Ostrava: VŠB – TU, 2015
- [3] O. WOLF, *Diplomová práce, Sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software elektronického systému pohonu 4x4 elektromobilu Democar*, Ostrava: VŠB – TU, 2016
- [4] KOVÁČ, J, *Diplomová práce, Návrh a realizace servořízení demonstračního vozidla s elektrickým pohonem*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, VŠB – TU, 2014
- [5] D. DULANSKÝ, *Diplomová práce, Sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software elektronického systému servořízení elektromobilu Democar*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016
- [6] O. JAHN, *Diplomová práce, Návrh a realizace osvětlovací soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava 2014
- [7] Przeczek S., *Diplomová práce, Sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software elektrohydraulického systému brzd elektromobilu DemoCar*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016
- [8] MAXIMINTEGRATED [online] [online] [cit. 2018.05.20]
URL: < <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX14828.pdf>>
- [9] BOSHREXROTH [online] [online] [cit. 2018.05.20]
URL:<https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/re22045_2008-05.pdf?db=brmv2&lvid=1134304&mvid=13372&clid=20&sid=FA63E596AE772ABAA59B9CC5D5F0ECDB.borex-tc&sch=M&id=13372,20,1134304>
- [10] BOSHREXROTH [online] [online] [cit. 2018.05.20]
URL:<<http://static.mercateo.com/99/986f0946fb5c4a09a9ec8ea992d97080/pdf/boschrexroth-re27506.pdf?v=16>>
- [11] BOSHREXROTH [online] [online] [cit. 2018.05.20]
URL:<https://dc-us.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/industrial_hydraulics_5/pdfs_4/re25771.pdf>
- [12] BOSHREXROTH [online] [online] [cit. 2018.05.20]
URL:<https://dc-us.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/industrial_hydraulics_5/pdfs_4/re20378.pdf>
-

- [13] BOSHREXROTH [online] [online] [cit. 2018.05.20]
URL:<https://dc-us.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/industrial_hydraulics_5/pdfs_4/re50150.pdf>
- [14] *TWR-PXS20 User-Guide*. [Uživatelská příručka] Axiom Manufacturing, 2011. DOC-0559-010, rev A,
- [15] *Freescale MQX Real-Time Operating System*. [Uživatelská příručka] Freescale, 2012

Přílohy

- Příloha A: Návrh řídicí jednotky
- Příloha B: Průběhy z osciloskopu
- Příloha C: Pinout konektorů
- Příloha D: Fotografie Democar